



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



ÚSTAV SOUDNÍHO INŽENÝRSTVÍ
INSTITUT OF FORENSIC ENGINEERING

VLIV DEFEKTU PNEUMATIKY NA JÍZDNÍ DYNAMIKU VOZIDLA

INFLUENCE OF TYRE DEFECT ON THE DRIVING DYNAMICS OF A VEHICLE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. ADAM KUBÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. VLADIMÍR PANÁČEK

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství

Ústav soudního inženýrství
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Adam Kubík

který/která studuje v magisterském navazujícím studijním programu

obor: **Expertní inženýrství v dopravě (3917T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Vliv defektu pneumatiky na jízdní dynamiku vozidla

v anglickém jazyce:

Influence of Tyre Defect on the Driving Dynamics of a Vehicle

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce se bude zabývat vlivem záměrně vyvolaných defektů pneumatik na jízdní dynamiku osobního vozidla, zejména s ohledem na zachování směrové stability vozidla.

Cíle diplomové práce:

1. Rozbor jízdní dynamiky vozidla.
2. Moderní pneumatiky osobních vozidel.
3. Experimentální měření vlivu defektu pneumatiky na chování vozidla.
4. Vyhodnocení provedených experimentů a využití získaných výsledků při znalecké činnosti.

Seznam odborné literatury:

- [1] VLK, František. Dynamika motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 432 s. ISBN 80-239-0024-2.
- [2] VLK, František. Podvozky motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 392 s. ISBN 80-239-0026-9.
- [3] BRADÁČ, A.: Soudní inženýrství. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 1999. ISBN 80-7204-057-X.
- [4] PACEJKA, H.B.: Tyre and Vehicle Dynamics. Butterworth-Heinemann, Elsevier, Oxford, 2006. ISBN-10: 0-7506-6918-7

Vedoucí diplomové práce: Ing. Vladimír Panáček

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 30.10.2013

L.S.

doc. Ing. Robert Kledus, Ph.D.
Ředitel vysokoškolského ústavu

Abstrakt

Hlavním cílem této práce je zjištění vlivu defektu pneumatiky na jízdní dynamiku vozidel. První část práce popisuje dynamiku vozidel, především jízdní odpory, přílnavost, směrové vlastnosti pneumatik a brzdění. Na tuto kapitolu navazuje přehled o výrobě a konstrukci moderních pneumatik pro osobní vozidla. Následující praktická část práce je zaměřena na jízdní zkoušky, pomocí kterých je dokazován vliv defektu na jízdní vlastnosti vozidla. V práci je zejména zjišťován vliv na směrovou úchylku, brzdnou dráhu, zpomalení a příčné zrychlení. Závěr práce se zabývá defektem pneumatiky ve vyšších rychlostech, jeho důsledky i opatřeními pro zmírnění následků.

Abstract

In this thesis, an effect of a tyre defect on the driving dynamics of a vehicle is dealt with. The first part of the thesis is mainly concerned with the vehicle dynamics, road resistance, adhesion, orientation characteristics of the tyres and slowing down. This chapter is followed by an overview of the manufacturing process and construction of modern passenger car tyres. The practical part is focused on driving tests that are used to demonstrate the influence of tyre defects on handling characteristics of the vehicle. The main focus of this thesis is on directional variation, braking distance, deceleration and lateral acceleration. The very end of the thesis concentrates on tyre defect in higher speeds and its after-effects as well as precautions for mitigation of these after-effects.

Klíčová slova

Jízdní odpory, směrové vlastnosti pneumatik, brzdění, pneumatiky osobních vozidel, kruhová zkouška, brzdná zkouška, zrychlení / zpomalení, defekt, nahuštění pneumatik.

Keywords

Road resistance, orientation characteristics of the tyres, slowing down, passenger car tyres, circular driving behaviour, brake performance tests, acceleration/deceleration, tyre defect, inflation pressure.

Bibliografická citace

KUBÍK, A. *Vliv defektu pneumatiky na jízdní dynamiku vozidla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2014. 95 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vladimír Panáček.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Vliv defektu pneumatiky na jízdní dynamiku vozidla zpracoval samostatně a uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

podpis

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Vladimíru Panáčkovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

Obsah

1.	ÚVOD	11
2.	JÍZDNÍ DYNAMIKA VOZIDEL	12
2.1	Jízdní odpory	12
2.1.1.	<i>Odpor valivý</i>	<i>12</i>
2.1.2.	<i>Vzdušný odpor.....</i>	<i>14</i>
2.1.3.	<i>Odpor stoupání</i>	<i>15</i>
2.1.4.	<i>Odpor zrychlení</i>	<i>15</i>
2.1.5.	<i>Celkový jízdní odpor</i>	<i>16</i>
2.2	Meze přilnavosti, skluz a prokluz	17
2.2.1.	<i>Směrové vlastnosti pneumatik.....</i>	<i>19</i>
2.2.2.	<i>Nejčastější směrové úchyly vozidel.....</i>	<i>21</i>
2.2.3.	<i>Klopení.....</i>	<i>23</i>
2.3	Brzdění.....	25
2.3.1.	<i>Průběh brzdění.....</i>	<i>25</i>
2.3.2.	<i>Brzdné síly, směrová stabilita brzděného vozidla.....</i>	<i>26</i>
3.	MODERNÍ PNEUMATIKY OSOBNÍCH VOZIDEL.....	31
3.1	Výroba pneumatik.....	31
3.2	Konstrukce pneumatiky	32
3.3	Runflat pneumatiky.....	38
3.4	Dojezdová kola	38
3.5	Značení pneumatik.....	39
3.6	Opotřebení pneumatik.....	44
3.7	Kontrola tlaku v pneumatikách.....	46
3.8	Modely pneumatik používané v simulačních programech	49
4.	ROZBOR MĚŘÍCÍCH METOD PRO ZJIŠTĚNÍ VLIVU DEFEKTU PNEUMATIKY NA CHOVÁNÍ VOZIDLA	51
4.1	Rozbor metod pro měření vlivu defektu s částečným únikem tlaku.....	51
4.1.1.	<i>Kruhová zkouška.....</i>	<i>51</i>
4.1.2.	<i>Brzdná zkouška</i>	<i>52</i>
4.2	Rozbor metod pro měření vlivu defektu s úplným únikem tlaku	53
4.2.1.	<i>Roztržení pneumatiky.....</i>	<i>53</i>
4.2.2.	<i>Přímá jízda.....</i>	<i>55</i>

4.2.3.	<i>Vyhýbací manévr.....</i>	55
4.3	Testovací vozidlo	56
4.4	Testovací místa	59
4.4.1.	<i>Testovací místo pro defekt s částečným únikem tlaku.....</i>	59
4.4.2.	<i>Testovací místo pro defekt s úplným únikem tlaku</i>	61
4.5	Měřicí přístroje a pomůcky	62
4.5.1.	<i>XL metr</i>	63
4.5.2.	<i>Fotoaparát</i>	64
4.5.3.	<i>Kamera.....</i>	65
4.5.4.	<i>GPS.....</i>	65
4.5.5.	<i>Ostatní pomůcky</i>	65
5.	EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ VLIVU DEFektu NA JÍZDNÍ DYNAMIKU	67
5.1	experimentální měření a vyhodnocení defektu s částečným únikem tlaku	67
5.1.1.	<i>Kruhová zkouška.....</i>	67
5.1.2.	<i>Brzdná zkouška</i>	71
5.1.3.	<i>Souhrnné vyhodnocení.....</i>	74
5.2	experimentální měření a vyhodnocení defektu s úplným únikem tlaku	77
5.2.1.	<i>Přímá dráha.....</i>	77
5.2.2.	<i>Vyhýbací manévr.....</i>	81
5.2.3.	<i>Hodnocení defektu z dostupných videí.....</i>	87
5.2.4.	<i>Souhrnné vyhodnocení.....</i>	88
6.	ZÁVĚR	90
7.	LITERATURA	92
	SEZNAM OBRÁZKŮ	95

1. ÚVOD

Automobil představuje nedílnou součást dnešního moderního života většiny lidí. Proto byl za posledních 20 let zaznamenán nárůst intenzity dopravy o více než 50%. Toto zvýšení s sebou ovšem přináší i vyšší riziko vzniku dopravní nehody, které se snaží automobilky eliminovat vývojem prvků aktivní i pasivní bezpečnosti. Ke snížení rizika však může přispět i běžný řidič pravidelnou kontrolou vozu, včetně tlaku a stavu pneumatik. Pneumatiky jsou totiž důležitým prvkem, které zprostředkovávají kontakt vozidla s vozovkou a zajišťují přenos všech sil. Proto je velmi důležité znát i situace, které mohou nastat v případě neočekávaného defektu a naučit se důsledky co nejvíce eliminovat a předejít dopravní nehodě.

Práce se zaměřuje na zjištění vlivu defektu pneumatiky na jízdní vlastnosti vozidla. První kapitoly rozebírají teorii týkající se dynamiky vozidel, především jízdní odpory, směrové vlastnosti, brzdění i stabilitu při brzdění. Dále je v práci rozebrána výroba a konstrukce pneumatik pro osobní vozidla, základní typy, faktory ovlivňující jejich životnost, ale i zařízení sloužící pro kontrolu jejich tlaku.

Následující kapitoly se zabývají experimentálním zjišťováním různých typů defektů (defekt s částečným i úplným únikem tlaku pneumatiky) na jízdní dynamiku vozidla. Změny v dynamice vozidel byly pozorovány při kruhových a brzdných zkouškách, na přímé dráze i při vyhybavém manévru. Hodnoceny byly úhly natočení volantu, zrychlení / zpomalení, brzdná dráha i čas. Pro komplexnost bylo hodnocení doplněno i subjektivními informacemi o chování vozidla od řidiče. Nakonec jsou v práci uvedeny opatření, které by měly pomoci zmírnit důsledky defektu pneumatiky a pomoci řidiči bezpečně zastavit vozidlo.

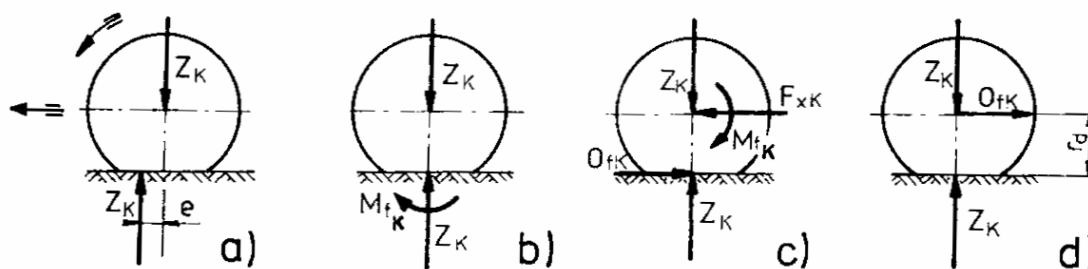
2. JÍZDNÍ DYNAMIKA VOZIDEL

2.1 JÍZDNÍ ODPORY

Na motorové (i nemotorové) vozidlo působí jízdní odpory (= síly působící proti pohybu), které musí jeho hnací síla motoru překonávat. Některé z odporů jsou přítomny vždy – odpor valivý a vzdušný, jiné působí až za pohybu vozidla – odpor zrychlení, odpor stoupání. V případě připojení přívěsu je nutné počítat i s tímto odporem. [10]

2.1.1. Odpor valivý

Valivý odpor vzniká deformací pneumatiky při styku s vozovkou. Místo tohoto styku je nazýváno stopa, v níž je pneumatika stlačena do roviny vozovky. Vlivem hystereze je síla potřebná k tomuto stlačení pneumatiky větší než k jejímu vrácení, čímž vzniká teplo mající za následek zahřívání pneumatiky. Z toho plyne, že měrné tlaky v přední části stopy jsou vyšší => radiální reakce vozovky Z_k je přesunuta před svislou osu kola o hodnotu e (viz obr.č. 1a). Při zavedení momentu M_{fk} působícímu proti pohybu kola z vozovky na kolo můžeme Z_k přesunout do svislé polohy kola (obr.č. 1b). Moment M_{fk} vyvolá reakci působící proti pohybu kola (obr.č. 1c) O_{fk} , tzn. že ve středu kola působí síla $F_{xk} = O_{fk} \Rightarrow$ silová dvojice. Zmíněná síla O_{fk} je valivý odpor kola. [10], [11], [12]



Obr. č. 1 - Valivý odpor kola [10]

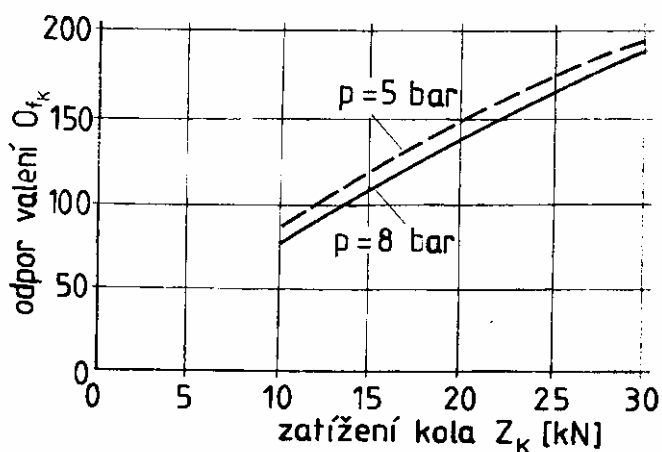
Z obrázku 1c plyne, že $M_{fk} = O_{fk} \cdot r_d = Z_{ke}$. Vyjádříme-li O_{fk} , získáme:

$$O_{fk} = Z_k \cdot \frac{e}{r_d} = Z_k \cdot f_k, \quad (1)$$

kde f_k značí součinitel valivého odporu kola, jehož velikost závisí na povrchu vozovky (viz. tab.č. 1) a také na velikosti deformace pneumatiky nebo na rychlosti. Při nižším tlaku se mění i deformace a síla Z_k se přesouvá více dopředu => zvětší se f_k . Graf ukazující závislost huštění na valivém odporu kola f_k je na obr.č. 2. [10], [11], [12]

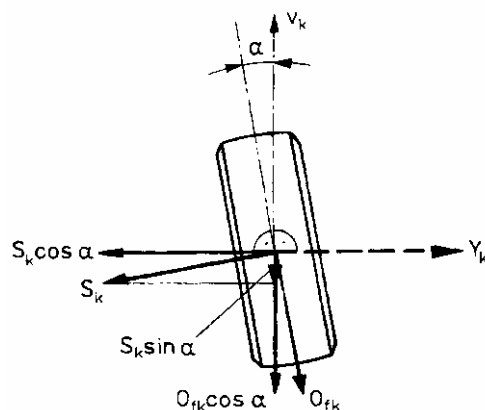
Tab. č. 1 - Součinitel valivého odporu pro různé povrchy vozovek [11]

Povrch	f_k	Povrch	f_k
Asfalt	0,01 – 0,02	Travnatý terén	0,081 – 0,015
Beton	0,015 – 0,025	Hluboký písek	0,15 – 0,30
Dlažba	0,02 – 0,03	Čerstvý sníh	0,20 – 0,30
Makadam	0,03 – 0,04	Bahnitá půda	0,20 – 0,40
Polní cesta suchá	0,04 – 0,15	Náledí	0,01 – 0,025
Polní cesta mokrá	0,08 – 0,20		



Obr. č. 2 - Vliv huštění pneumatiky na odpor valení [10]

Do valivého odporu se započítávají i odpory vznikající při zatáčení, kdy se kola odvalují se směrovou úchylkou (viz obr.č. 3). Při směrové úchylce α vzniká valivý odpor $O_{fk} \cdot \cos \alpha + S_k \cdot \sin \alpha$, kde S_k zastupuje boční vodící sílu kola. Vliv celkové směrové úchylky na součinitel valivého odporu je velmi progresivní. [10]



Obr. č. 3 - Silové poměry na kole při směrové úchylce [10]

2.1.2. Vzdušný odpor

Vzdušný odpor vzniká při jízdě vozidla díky tomu, že vzduch proudící kolem horní a spodní části karoserie se za vozidlem neuzavírá, ale dochází zde k víření. Tím vzniká vzdušný odpor O_v , jehož velikost je dána výslednicí normálových tlaků vzduchu a třecích sil působících na karoserii. Celkový vzdušný odpor se určuje z běžného aerodynamického vztahu:

$$O_v = c_x \frac{\rho}{2} S_x v_r^2, \quad (2)$$

kde v_r je výsledná rychlost proudění vzduchu (dáno rychlostí vozidla a rychlostí vzduchu), S_x je čelní plocha vozidla (nejpřesněji zjištěná čelní projekcí), ρ je měrná hmotnost vzduchu a c_x je součinitel vzdušného odporu, který udávají výrobci podle údajů z aerodynamického tunelu. Snahou je mít koeficient c_x co nejnižší, aby bylo vozidlo úsporné. Pozitivně tento koeficient ovlivňuje krytování podvozku v oblasti motoru. [10], [11], [12]

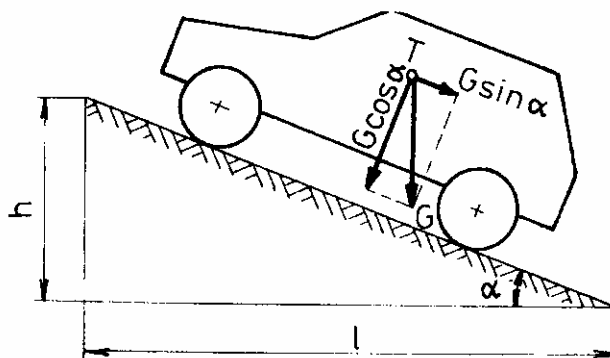
2.1.3. Odpor stoupání

Odpor stoupání bereme v úvahu při jízdě vozidla do svahu. Z obr.č. 4 můžeme odvodit, že odpor stoupání je dán tíhovou složkou vozidla a úhlem α svírající rovina vozovky s vodorovnou rovinou. [10], [11]

$$O_s = \pm G \cdot \sin \alpha, \quad (3)$$

Znaménko plus je platné pro jízdu do svahu a znaménko mínus pro jízdu ze svahu. Místo úhlu α je často používáno stoupání s , pro které platí:

$$s = \frac{h}{l} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (4)$$



Obr. č. 4 - Odpor stoupání [10]

2.1.4. Odpor zrychlení

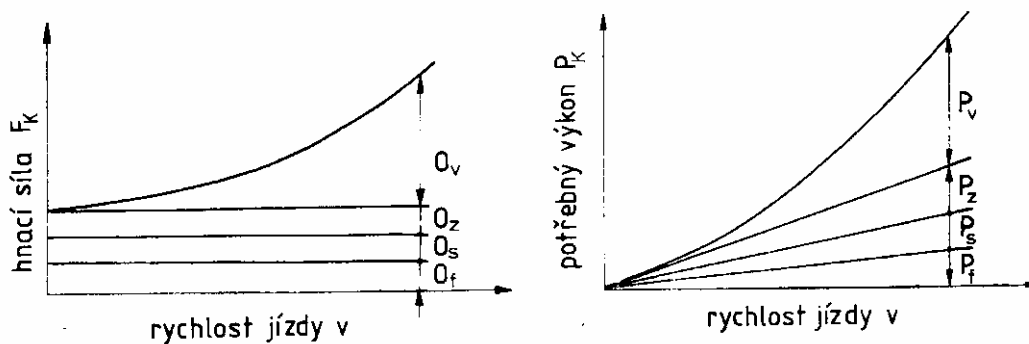
Proti směru zrychlení působí setrvačná síla nazývaná odporem zrychlení. Odpor zrychlení se skládá z odporu zrychlení suvných a otáčejících částí. K překonání odporu rotačních částí je nutno na hnací kola převést moment skládající se z momentu potřebného pro zrychlení rotačních částí motoru, převodového ústrojí a kol vozidla. U převodového ústrojí je odpor rotačních částí závislý na zařazeném převodu. [10], [12]

2.1.5. Celkový jízdní odpor

Celkový jízdní odpor je dán součtem jednotlivých odporů působících na vozidlo v pohybu. Hnací síla potřebná k překonání jízdních odporů se vypočítá dle:

$$F_k = O_f + O_v + O_s + O_z. \quad (5)$$

Příslušný graf i graf výkonu potřebného k překonání odporů je na obr.č. 5. Z grafu výkonu plyne, že výkon nutný k překonání valivého odporu a odporu stoupání roste lineárně, zatímco vzdušný odpor roste až s třetí mocninou rychlosti. Z toho je zřejmý záměr konstruktérů o co nejnížší koeficient vzdušného odporu c_x . [10]



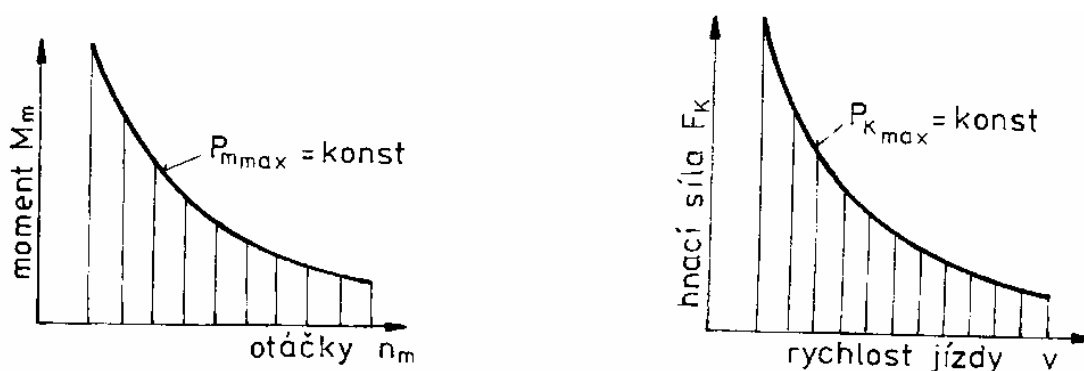
Obr. č. 5 - Hnací síla a výkon potřebný k překonání odporů [10]

2.2 MEZE PŘILNAVOSTI, SKLUZ A PROKLUZ

Výkon hnacího motoru je závislý na jeho otáčkách (maximální výkon je k dispozici pouze při určitých otáčkách). V ideálním případě, kdy by výkon nebyl na otáčkách závislý a v celém rozsahu byl konstantní, by dle vztahu:

$$M_m = \frac{P_{m\max}}{n_m} \quad (6)$$

platilo, že točivý moment by vzrůstal se snižováním otáček (viz obr.č. 6). Jelikož hnací síla na kolech F_k je přímo úměrná točivému momentu a rychlosti jízdy (přímo úměrná i otáčkám motoru), vychází nám ideální charakteristika hnací síly jako hyperbola (obráz. 6). Na kola vozidla ovšem není možno přenést libovolně velkou hnací sílu F_k , přenos je omezen přilnavostí vozovky. [10]



Obr. č. 6 - Ideální charakteristika motoru - výkon a ideální hyperbola hnací síly [10]

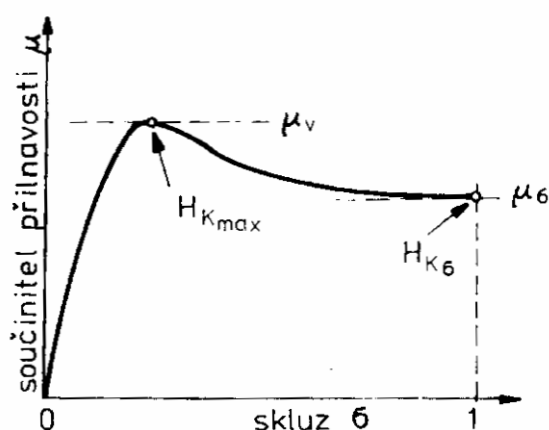
Maximální přenositelná obvodová síla mezi vozovkou a pneumatikou je dle experimentálních měření určena jako:

$$H_{k\max} = \mu_v \cdot Z_k, \quad (7)$$

kde μ_v je součinitel valivé přilnavosti (v podélném směru). Je-li hnací moment kola (tedy i podélná reakce mezi kolem a vozovkou) vyšší než $H_{k\max}$ pak dochází ve stopě pneumatiky k prokluzu. Je-li podélný skluz $\tau = 1$, pak přenášená obvodová síla je rovna:

$$H_{k\tau} = \rho_{\sigma} \cdot Z_k, \quad (8)$$

kde μ_{σ} je součinitel skluzové přilnavosti. Skluzová charakteristika pneumatiky (= závislost součinitele skluzové přilnavosti na skluzu kola) je na obr.č. 7. Obecně platí, že $\mu_v > \mu_{\sigma}$. Orientační hodnoty součinitele valivé přilnavosti (zjištěné experimentálně) v závislosti na povrchu vozovky (ovlivňuje μ_v nejvíce) jsou v tab.č. 2. [10]



Obr. č. 7 - Skluzová charakteristika pneumatiky [10]

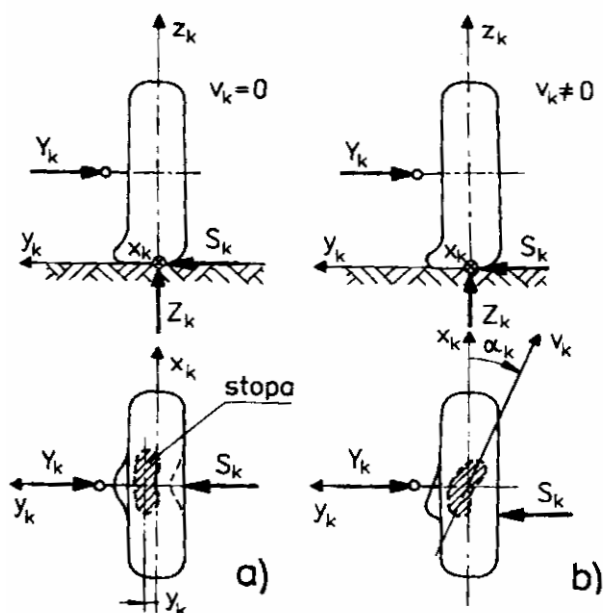
Tab. č. 2 - Součinitel přilnavosti pro různé povrchy vozovek [10]

Vozovka		Hodnota	Vozovka		Hodnota
Beton	Suchý	0,8 – 1,0	Asfalt	Suchý	0,6 – 0,9
	Mokrý	0,5 – 0,8		Mokrý	0,3 – 0,8
Dlažba	Suchý	0,6 – 0,8	Makadam	Suchý	0,6 – 0,8
	Mokrý	0,3 – 0,5		Mokrý	0,3 – 0,5
Polní cesta	Suchý	0,4 – 0,6	Tráva	Suchý	0,4 – 0,6
	Mokrý	0,3 – 0,4		Mokrý	0,2 – 0,5
Hluboký písek, sníh		0,2 – 0,4	Náledí		0,1 – 0,3

Pro zabezpečení největšího přenosu obvodových sil mezi pneumatikou a vozovkou, musí být hnací (příp. brzdné) momenty takové, aby nedocházelo k prokluzu (příp. blokování). Pneumatika, u které není překročeno H_{kmax} je zaručeno, že při nulové boční síle se pohybuje ve směru valení. [10]

2.2.1. Směrové vlastnosti pneumatik

Pokud je pneumatika zatížena mimo svislé a obvodové síly i boční silou, není její střední rovina shodná s podélnou osou stykové plochy (stopou). Pokud na stojící kolo začne působit v ose otáčení boční síla Y_k , pak ve stopě pneumatiky vzniká vodorovná boční reakce S_k , která se označuje jako boční vodící síla. Díky tomu dojde k boční deformaci pneumatiky a osa stopy je vůči podélné rovině vychýlena o hodnotu závisující na velikosti boční síly a tuhosti bočnice pneumatiky. Vliv boční síly na stojící pneumatiku je na obr.č. 8. [10], [11]



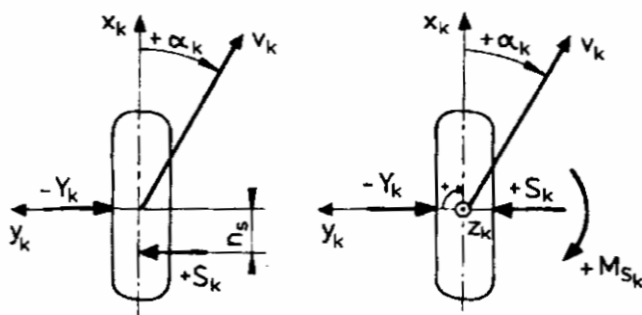
Obr. č. 8 - Působení boční síly na stojící a valící se kolo [10]

V případě, kdy se pneumatika otáčí, jsou její jednotlivé elementy přicházející do styku s vozovkou bočně vysunuty vůči elementům, které již ve styku s vozovkou byly dříve (obr.č. 18b). Z toho plyne, že osa stopy se tím vychýlí o úhel α_k (= úhel směrové úchylny), který je mezi vektorem rychlosti v_k a podélnou osou kola x_k . U takto odvalujícího se kola vznikají ve stopě elementární síly vzrůstající k zadnímu konci stopy. Jejich výslednice se nazývá boční vodící síla S_k a neleží v ose otáčení kola y_k , ale je posunuta dozadu o n_s (= závlek pneumatiky). Situace je znázorněna na obr.č. 9.

Pokud by boční vodící síla S_k byla přemístěna do osy (obr.č. 9b), pak na kolo musí působit moment M_{sk} (= vratný moment kola) vypočítaný z:

$$M_{sk} = n_s \cdot S_k. \quad (9)$$

Závislost boční síly S_k a vratného momentu M_{sk} na úhlu směrové úchylky α_k je v praxi zjišťován experimentálně na válcových stavech nebo na pojízdných dynamometrech. [10], [11]



Obr. č. 9 - Vratný moment pneumatiky [10]

Směrové vlastnosti pneumatik jsou ovlivňovány různými parametry. Jedním z nich je tlak v pneumatice. Vyšší tlak při stejném, svislém zatížení způsobuje zvýšení směrové tuhosti $C_{\alpha k}$ a naopak snížení vratné tuhosti $C_{M\alpha k}$.

$$C_{\alpha k} = \left(\frac{\partial S_k}{\partial \alpha_k} \right)_{\alpha_k \rightarrow 0} \quad [N / rad] \quad (10)$$

$$C_{M\alpha k} = \left(\frac{\partial M_{sk}}{\partial \alpha_k} \right)_{\alpha_k \rightarrow 0} \quad [Nm / rad] \quad (11)$$

Z toho plyne, že při stejné boční síle bude mít více nahuštěná pneumatika menší směrovou úchylku. Přitom ale vyšší huštění snižuje vratný moment => menší závlek. Směrové vlastností dále ovlivňuje i konstrukce pneumatiky. Při stejné boční síle vzniká u radiální pneumatiky menší směrová úchylka než u diagonální. Je to dáno vyšší tuhostí

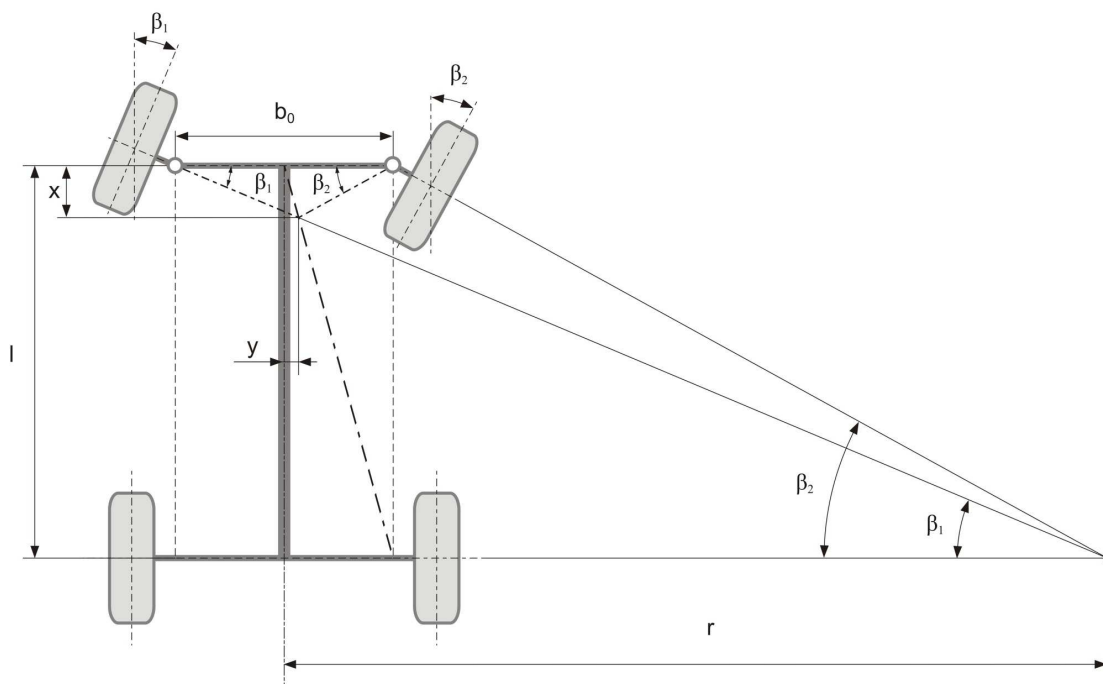
radiální pneumatiky. Dalším podstatným vlivem jsou povětrnostní podmínky, díky kterým se mění přilnavost (vlhkost) vozovky. Pro větší úhly α_k klesá boční síla i vratný moment. [10], [11]

2.2.2. Nejčastější směrové úchyly vozidel

Každé dvoustopé vozidlo při průjezdu zatáčkou opisuje dvě kružnice s odlišnými poloměry, kružnice s větším poloměrem náleží vnějšímu kolu a kružnice s menším poloměrem vnitřnímu kolu. Aby k nežádoucímu smýkání kol, musí řízení splňovat určité geometrické podmínky, tzv. *Ackermannova podmínka*. V ideálním případě, když by byla kola (pneumatiky) bočně nepoddajná, podle Ackermannovy podmínky platí, že střed otáčení musí ležet na prodloužené ose zadní nápravy (viz. obr.č. 10). Výslednice bočních sil pneumatiky v tomto případě prochází těžištěm, ve kterém zároveň působí i odstředivá síla. Směrové úchyly předních i zadních kol jsou stejné, vozidlo nevyžaduje žádnou korekci natočení volantů a chová se neutrálně. Chceme-li tento stav vyjádřit matematicky, pak za předpokladu, že b_0 je rozchod kol, l je rozvor náprav, β_1 je úhel natočení vnějšího kola a β_2 je úhel natočení vnitřního kola platí:

$$\cot g\beta_1 - \cot g\beta_2 = \frac{b_0}{l}. \quad (12)$$

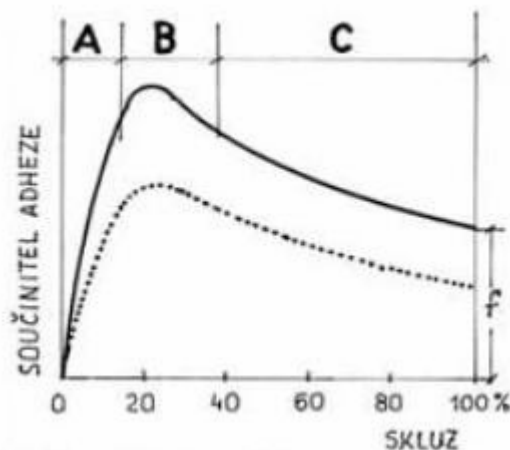
V praxi ovšem tento vztah úplně neplatí, neboť narážíme na problém poddajnosti pneumatik, což spolu s odstředivými silami má za následek vznik různých směrových úchylek pneumatik při průjezdu zatáčkou. [20], [21].



Obr. č. 10 - Ackermannova podmínka [20]

Pokud ovšem pneumatiky na přední a zadní nápravě mají rozdílné úhly směrových úchylek, dochází k posunutí středu otáčení mimo prodlouženou osu zadní nápravy a výslednice bočních sil pneumatik neprochází těžištěm. V takovémto případě mohou nastat dvě varianty. [20], [21].

Pokud výslednice bočních sil pneumatik působí za těžištěm a odstředivá síla táhne přední část vozidla ze zatáčky, tak je úhel směrové úchylky na pneumatikách přední nápravy větší než na pneumatikách zadní nápravy. Tento stav je nutné korigovat zvětšením natočení kol přední nápravy. Takovéto chování vozidla se označuje jako nedotáčivé. Druhý případ nastává, pokud výslednice bočních sil na pneumatikách se nachází před těžištěm, to má za následek, že odstředivá síla táhne zadní část vozidla ze zatáčky a vozidlo se stává přetáčivým. Úhel směrové úchylky zadní nápravy je větší než na přední nápravě, vozidlo se stává nestabilní a řidič je nucen zmenšovat úhel natočení volantu, případně dát i záporný. Tento stav je pro běžného řidiče více rizikový, ovšem zkušený jezdcí ho dokáží využít a díky řízenému skluzu v rozmezí 20 – 30 % dokáží projíždět zatáčky rychleji (viz obr.č. 11). [20], [21].



Obr. č. 11 - Závislost součinitele adheze na skluzu [21]

V praxi může změnu směrové úchytky řidič pocítit při změně hnací síly (uvolnění akcelérátoru) při průjezdu zatáčkou. Tuto problematiku lze simulovat jízdní zkouškou “změna hnací síly při zatáčení”. Vozidlo při této zkoušce jede po kruhové dráze a náhlým uvolněním akcelérátoru dojde ke zpomalení vozidla => vozidlo se předkloní, čímž se odlehčí zadní náprava a přitíží přední a zároveň dojde ke zmenšení bočního zrychlení a poklesu obvodových sil. To má za následek, že při konstantním úhlu natočení volantu začne vozidlo opisovat jiný poloměr v důsledku změny směrové úchytky. Z toho jasně vyplývá, že velikost směrové úchytky závisí na více parametrech, mezi které patří natočení volantu, velikost bočních sil, velikost skluzu, ale také v neposlední řadě i tlak v pneumatikách a jejich směs. [10]

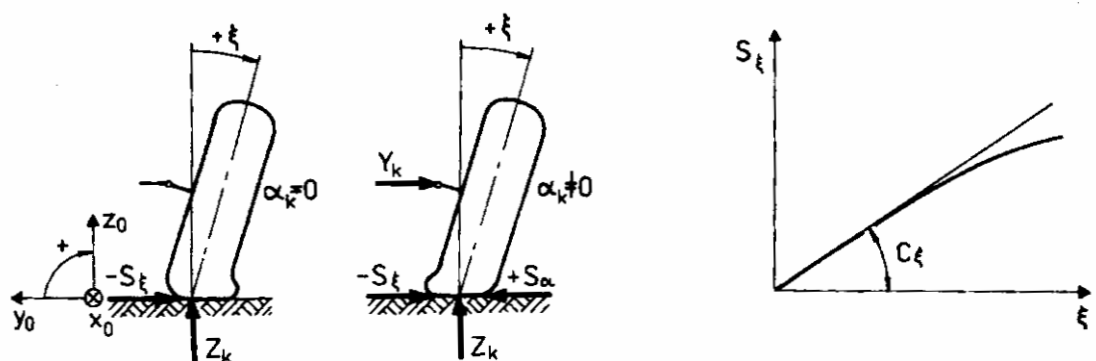
2.2.3. Klopení

Mnoho vozidel (potažmo jejich náprav) se vyznačuje tím, že při naklápění karoserie dochází i ke klopení kol. Díky takovému naklopení kola vznikne ve stopě pneumatiky boční síla S_{ξ} (viz obr.č. 10 vlevo, kladný úhel naklopení kola ξ má za následek zápornou boční sílu S_{ξ}). Pokud je boční síla vzniklá při valení pneumatiky se směrovou úchytkou S_{α} a boční síla daná klopením S_{ξ} je výsledná síla vypočtena:

$$S_k = S_{\alpha} - S_{\xi} \text{ pro } \xi > 0, \quad (13)$$

$$S_k = S_{\alpha} + S_{\xi} \text{ pro } \xi < 0. \quad (14)$$

Závislost boční síly S_ξ na úhlu naklopení je znázorněn na obr.č. 12 vpravo. Koeficient C_ξ značí klopnou tuhost. [10]



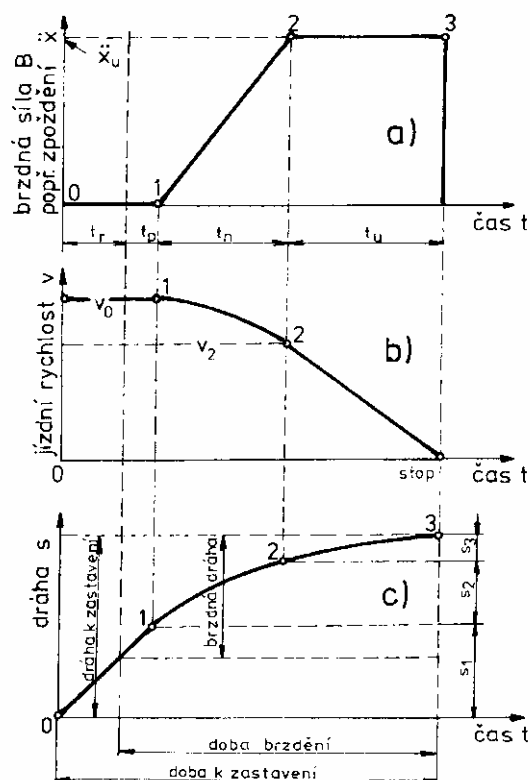
Obr. č. 12 - Vliv naklápění kola (vlevo) a závislost boční síly na úhlu naklopení (vpravo) [10]

2.3 BRZDĚNÍ

Brzdění je úmyslné snižování rychlosti vozidla, případně zamezení jeho pohybu. Brzdění (potažmo i brzdy) lze rozdělit na čtyři druhy: provozní, nouzové, odlehčovací a parkovací. Provozní brzdy mají za úkol zastavit vozidlo při všech zatíženích, rychlostech a svazích, se kterými se dané vozidlo při provozu setkává. Zpomalování (či zastavení) je u provozní brzdy docíleno snižováním otáček kol díky tření => vznik brzdného momentu mezi kolem a vozovkou. Nouzové brzdění slouží k zastavení vozidla v případě selhání provozních brzd. Odlehčovací brzdy napomáhají provozním brzdám a omezují nebo udržují rychlost při jízdě ze svahu. A poslední z jmenovaných je parkovací brzda, která zabráňuje pohybu odstavenému vozidlu. [10], [11]

2.3.1. Průběh brzdění

Brzdění se skládá z několika časových úseků, které jsou znázorněny na obr.č. 13a. První úsek t_r je doba mezi zpozorováním překážky a položením na brzdový pedál = doba reakce. Obvyklá doba reakce t_r je pohybuje mezi 0,8 – 1 s. Následující časový úsek t_p je prodleva brzdění, tj. doba než se začne projevovat účinek brzdění (= vymezení vůlí, doba než se obložení dostane do kontaktu s třecí plochou). Další fází t_n je náběh brzdné síly. Brzdny účinek se postupně zvyšuje až do plné výše. Poté přichází poslední fáze t_u , která charakterizuje dobu plného brzdění. Průběhy rychlosti a dráhy během jednotlivých fází jsou na obr.č. 13b a 13c. [10], [11]



Obr. č. 13 - Průběh brzdění [10]

2.3.2. Brzděné síly, směrová stabilita brzděného vozidla

Při brzdění vozidla je jeho zrychlení i obvodové síly záporné. Aby nebylo nutné počítat se záporným zrychlením, zavádí se tzv. poměrné z , které se získá jako poměr záporného zrychlení k tíhovému zrychlení:

$$z = -\frac{x}{g}. \quad (15)$$

Brzděné síly (B_z a B_p) jsou určeny jako záporné obvodové síly (= reakce mezi koly a vozovkou): $B_p = -H_p$ a $B_z = -H_z$. V těžišti vozidla pak působí setrvačná síla $mx = Gz$. Pro setrvačnou sílu platí:

$$m \cdot \ddot{x} = H_p + H_z \quad (16)$$

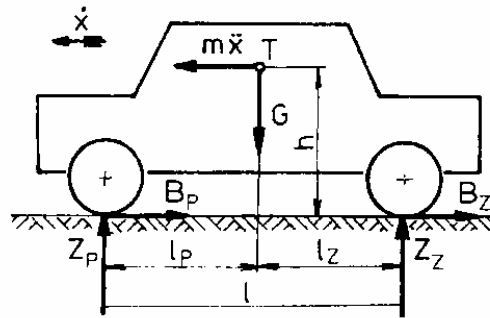
a pro G_z platí:

$$G_z = B_z + B_p. \quad (17)$$

Znázornění jednotlivých sil působících na vozidlo při brzdění je na obr.č. 14. Zatížení náprav (radiální reakce) při zanedbání valivého odporu, vztlaku, vzdušných odporů a setrvačných momentů rotujících kol určíme z momentových podmínek rovnováhy: [10], [11]

$$Z_p \cdot l - G \cdot z \cdot h - G_{lz} = 0 \Rightarrow Z_p = \frac{G}{l} \cdot (z \cdot h + l_z) \quad (18)$$

$$Z_z \cdot l + G \cdot z \cdot h - G \cdot l_p = 0 \Rightarrow Z_z = \frac{G}{l} \cdot (l_p - z \cdot h). \quad (19)$$



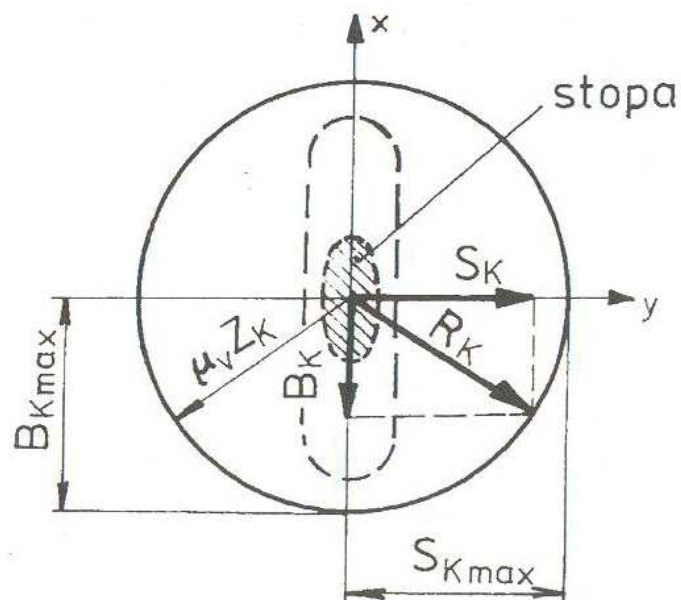
Obr. č. 14 - Síly působící na brzdící vozidlo [10]

Maximální brzdné síly (tedy i obvodové síly) jsou limitovány přilnavostí mezi pneumatikou a vozovkou. Pro maximální brzdné síly platí:

$$B_{p \max} = \mu_v \cdot Z_p \text{ a} \quad (20)$$

$$B_{z\max} = \mu_v \cdot Z_z, \quad (21)$$

kde μ_v značí součinitel přilnavosti v podélném směru a $Z_{z,p}$ radiální reakci vozovky. Pokud na pneumatiku kromě obvodové síly působí i boční, a chceme se vyvarovat smyku, musí být geometrický součet těchto sil v určitém rozmezí, které závisí na přilnavosti. Za předpokladu stejné přilnavosti v příčném i podélném směru (ve skutečnosti je přilnavost v podélném směru větší), musí geometrický součet sil (výslednice R_k) ležet uvnitř tzv. Kammovy kružnice přilnavosti (viz. obr.č. 15). [10], [11]



Obr. č. 15 - Kammova kružnice přilnavosti [10]

Výpočet výslednice R_k :

$$R_k = \sqrt{B_k^2 + S_k^2} \leq \mu_v \cdot Z_k, \quad (22)$$

kde B_k je brzdňá síla, S_k je boční vodící síla a Z_k je radiální reakce pneumatiky. Kammova kružnice je tvořena poloměrem $\mu_v Z_k$ opsaným ze středu stopy. Pokud bude brzdňá síla na kole stejná s maximální přenositelnou silou:

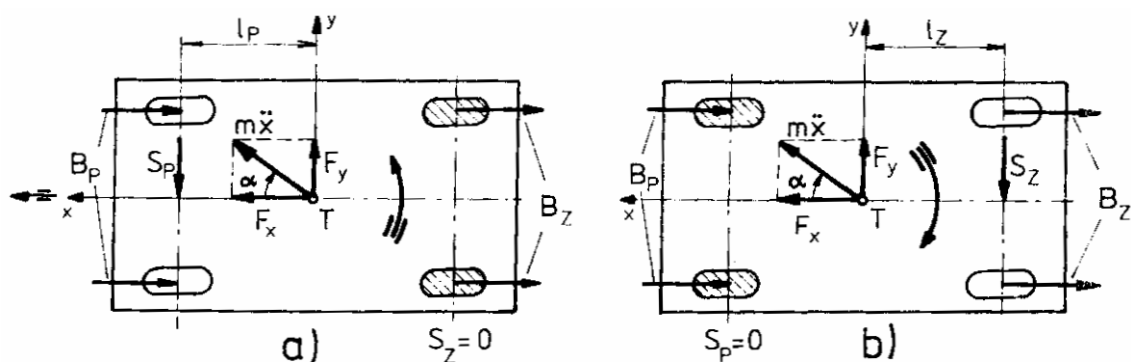
$$B_k = B_{k \max} = \mu_v \cdot Z_k, \quad (23)$$

pak dle Kammovy kružnice se $S_k = 0$ a pneumatika není bočně vedena. V případě vyšší síla než je $B_{k \max}$ nastává smyk a boční vodící síla je rovna nule. [10], [11]

Stabilita při brzdění je závislá na rozdělení brzdňé síly mezi přední a zadní nápravu. Dle velikosti síly připadající na jednotlivé nápravy mohou nastat dva případy:

- a) blokující kola zadní nápravy (viz. obr.č. 16a)
- b) blokující kola přední nápravy (viz. obr.č. 16b).

Leží-li setrvačná síla m_x mimo podélnou osu vozidla (natočení o úhel α), vzniká rušivá síla F_y (díky ní se vychýlí m_x z podélné osy) kolmá k podélné ose, která je udržována v rovnováze bočními silami na pneumatikách. Pokud dojde k blokaci zadní nápravy, je její boční síla $S_z = 0$ a boční sílu přenášejí jenom přední pneumatiky. Díky takto vzniklé silové dvojici $S_p l_p = F_y l_p$ je vozidlo natočeno doleva, úhel α je zvětšován a nastává nestabilita. V případě obr.č. 23b, kdy dochází k blokování předních kol, působí boční síla pouze na zadní nápravu, vzniká opačný moment $S_z l_z$ zmenšující úhel α . [10]



Obr. č. 16 - Stabilita a nestabilita brzděného vozidla [10]

Z těchto dvou situací je zřejmé, že automobil při blokaci přední nápravy je mnohem stabilnější než při blokování zadních kol. Tento rozbor je platný pro vozidlo pohybující se přímo. Pro případ průjezdu zatáčkou by platila jiná pravidla, při kterých je nutno znát i reakci řidiče. [10]

3. MODERNÍ PNEUMATIKY OSOBNÍCH VOZIDEL

Pneumatiky jsou podstatnou součástí vozidla, neboť zprostředkovávají jeho kontakt s vozovkou. Při jejich výběru musíme brát ohled na to, že nesou celkovou hmotnost jízdní soupravy (vozidla i nákladu), přenášejí podélné i příčné síly a jsou součástí pružící soustavy. Z tohoto pohledu jsou pneumatiky nejvýznamnějším konstrukčním prvkem, na kterém závisí bezpečnost jízdy. [1]

3.1 VÝROBA PNEUMATIK

V dnešní době se každá průmyslově vyráběná pneumatika skládá ze tří hlavních komponent: z cca 80% se jedná o pryž, cca 15% je zastoupeno různými vlákny a necelých 5% připadá na ocelový drát. Jak je z výčtu složení pneumatiky patrné, největší podíl zastupuje pryž vyráběná z kaučuku. Dříve (i nyní při výrobě pneumatik pro nákladní vozidla) se používalo přírodního kaučuku získávaného tzv. čepováním (nařezáváním kůry kaučukovníků) – z naříznutého místa vytéká bílá tekutina – *latex*. Nyní se ovšem při výrobě pneumatik pro osobní automobily již nepoužívá přírodní kaučuk ale syntetický, který některými vlastnostmi převyšuje kaučuk přírodní. Jde především o minimální citlivost na působení olejů a vysokou odolnost i vůči nízké teplotě. [1], [7]

Samotná výroba pneumatik se skládá z několika fází. V první fázi výroby pneumatiky dochází k míchání gumárenských směsí (výběr materiálů je dán částí pneumatiky a jejími požadovanými fyzikálně-mechanickými vlastnostmi). Míchání je vícestupňový proces probíhající v hnětičových linkách. Pro každý stupeň míchání jsou používány konkrétní suroviny a příslušná teplota (plastifikace přírodního kaučuku – 150 °C, vmíchávání aditiv – 125 °C a konečná fáze míchání vulkanizačního systému – 100 °C). [7]

Po míchání směsi následuje fáze přípravy polotovarů, kterou lze dle způsobu výroby rozdělit do 3 skupin: 1) vytlačované polotovary (běhoun, bočnice, vnitřní guma), 2) pogumovaný textil (kordové vložky) a 3) patní lana. Vytlačované polotovary jsou vyráběny ve dvou etapách.. V první etapě se směs ohřívá a homogenizuje ve šnekovém tubusu. V druhé fázi následuje vlastní vytlačení – tvar a rozměry jsou dány vytlačovací hlavou a šablonou. Kostra pneumatiky nesoucí veškeré zatížení je tvořena

vložkami z pogumovaného kordu zakotveného kolem patních lan. Kord bývá vyroben z různých materiálů (nejčastěji polyamidy, polyestery a ocelové dráty), na které je nanášena vrstva směsi o tloušťce 1 – 3 mm. Optimální přenos sil a zachování silové rovnováhy pláště je docíleno vhodným uspořádáním kordových vláken. [7]

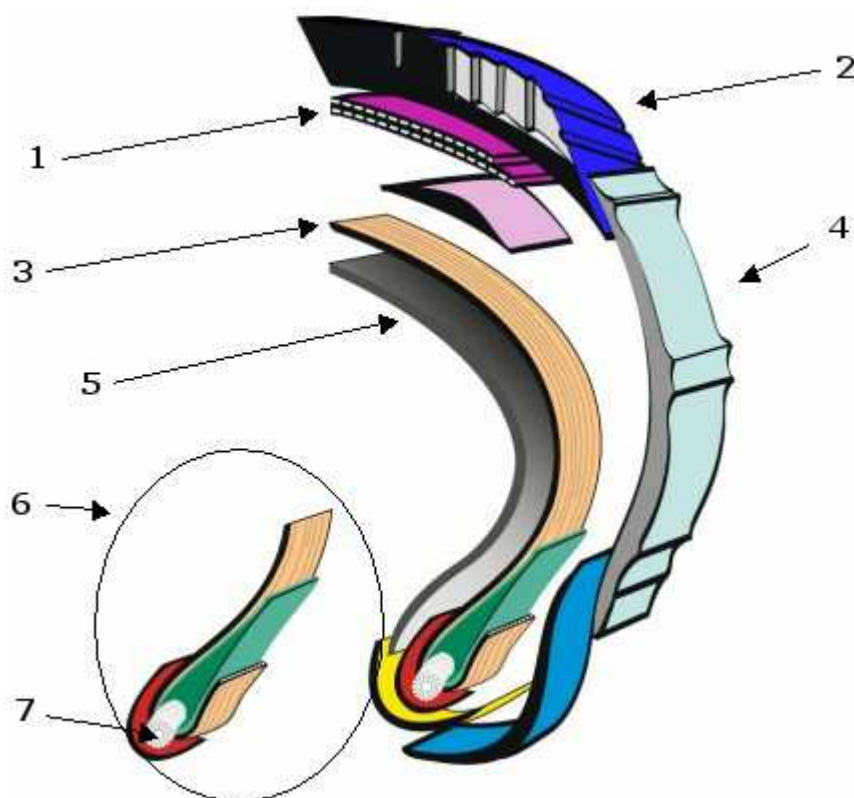
Dalším krokem výroby je kompletace pneumatiky (tzv. *konfekce*). Dle typu a velikosti pneumatiky může být konfekce klasická – skládá se zevnitř k vrchní části (guma bránící úniku vzduchu, kordové vložky, nárazník, bočnice, patní lana a běhoun) nebo speciální – namotávání používané při výrobě velkých plášťů. Výsledkem této kompletace je vznik surové pneumatiky – *karkasy*. [1], [7]

Surová karkasa vstupuje do procesu vulkanizace, před kterým je nutno karkasu povrchově ošetřit tzv. emulgací. Aplikují se vnitřní a vnější roztoky pro lepší separaci od formy a membrány, pro dosažení nezbytné strukturní pevnosti a odolnosti. Samotná vulkanizace je chemický děj, při kterém se gumárenská směs mění na pryž díky tvoření elastomerních řetězců spojovaných pomocí můstků síry. Pro zabezpečení potřebných fyzikálně-chemických vlastností pneumatiky, musí vulkanizace probíhat za tlaku a teploty určené vulkanizačním předpisem daného výrobce ve speciální vulkanizační formě, která určuje i dezén pneumatiky. Kromě teploty a tlaku hrají důležitou roli také saze, jejichž jemné částice se dobře váží s kaučukovými molekulami, což velmi ovlivňuje kvalitu pryže. V posledních letech jsou saze nahrazovány *silikou* (hydratovaný oxid křemičitý), která přináší jistá pozitiva. [1], [7]

Poslední fází, kterou plášť při výrobě prochází je výstupní kontrola, která je velmi důležitá z pohledu bezpečnosti provozu. Provádí se vizuální kontrola, u rychlostních pneumatik (pro osobní vozy, nákladní i autobusy) i rentgenová kontrola, která pomáhá odhalit drobnější defekty, např. mikroseparaci. Pokud všechny kontroly proběhnou bez problému, je možné pneumatiku expedovat k prodeji. [1], [7]

3.2 KONSTRUKCE PNEUMATIKY

Pneumatiky pro osobní i nákladní vozy jsou vyztužené pryžový kompozit skládající se ze 4 hlavních částí: *koruny*, *ramena*, *boku* a *patky*. Řez pneumatikou se znázorněnými částmi je na obr.č. 17. [4]

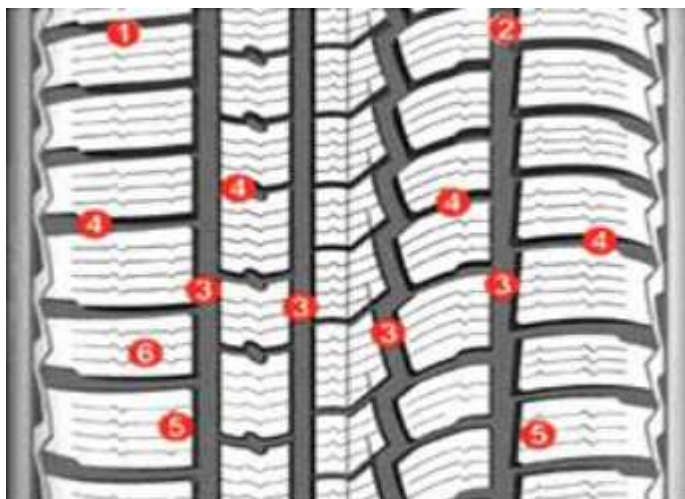


Obr. č. 17 - Řez pneumatikou [4]: 1 – korunní kordová vrstva, 2 – běhoun, 3 – radiální kordová vrstva, 4 – bočnice, 5 – vnitřní gumová vrstva, 6 – patka, 7 – patní lano

Běhoun (na obr.č. 17 číslo 2) – tvoří vnější obvodovou plochu pláště, která přichází do styku s vozovkou. Chrání spodní vrstvy, zvláště kostru, před nepříznivými povětrnostními vlivy, mechanickým poškozením a jinými případnými poškozeními. Běhoun je opatřen vzorkem, jehož tloušťka má vliv na zahřívání celého pláště, proto by měl být co nejtenčí. Zpravidla 60 – 80 % běhounu tvoří vzorek a zbylých 40 – 20 % náleží ostatnímu materiálu. Tento poměr ale neplatí u pneumatik pro nákladní automobily, kde je běhoun konstruován na pozdější prořezávání vzorku. V praxi se v určitých případech využívá výhod dvojitého běhounu. Jeho vrchní vrstva se vzorkem má vysokou odolnost proti opotřebení a spodní je navrhována tak, aby docházelo k nízkým hysterezím ztrátám při zatížení, což znamená nízké tepelné namáhání pneumatiky. [1], [3], [4]

Tvar a rozmístění drážek a segmentů dezénu je vyvíjeno dle použití pneumatiky a má své opodstatnění. Z obr.č. 18 je patrné, že vnější zóna (1) zabezpečuje jízdní stabilitu vozidla a bezpečné ovládání, proto je velmi namáhána a musí být tvořena pevnými tuhými bloky. Vnitřní část dezénu (2) má velký podíl na záběru pneumatiky a

také zajišťuje odvod vody. Obvodové drážky (3) zajišťují stálý kontakt s vozovkou dostatečné držení směru a odvod vody ze styčné plochy. Příčné drážky (4) také napomáhají odvodu vody a obstarávají co nejlepší záběr např. na sněhu. Nestejně široké bloky (5) na vnější straně běhounu snižují hluk vznikající odvalováním. Lamelování (6) přispívá k lepším záběrovým vlastnostem, jelikož se zvětší počet záběrových hran. [1], [3], [4]



Obr. č. 18 - Dezén pneumatiky [3]: 1 – vnější zóna, 2 – vnitřní část dezénu, 3 – obvodové drážky, 4 – příčné drážky, 5 – bloky, 6 - lamelování

Dle tvaru dezénu dělíme pneumatiky na:

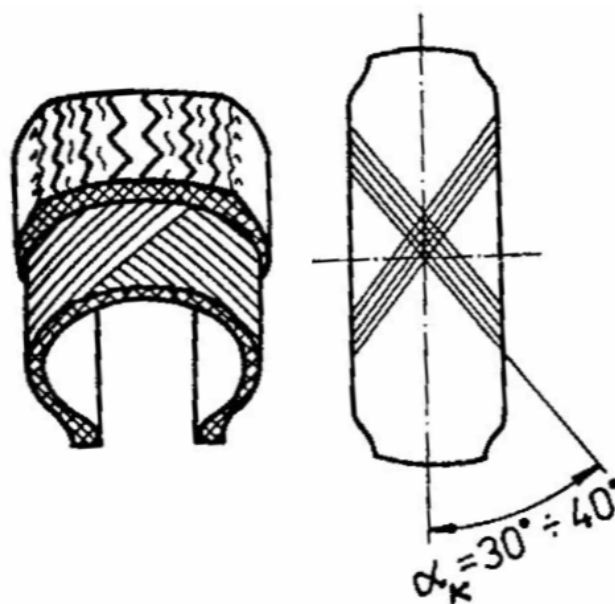
- pneumatiky se symetrickým dezénem – při montáži není nutno dbát na směr rotace
- pneumatiky se směrovým dezénem – pneumatika se musí otáčet dle směru dezénu (označeno šipkou). Výhoda – lepší odvod vody.
- Pneumatiky s asymetrickým dezénem – dezén je rozdělen na několik zón, z nichž každá plní svoji funkci. Při montáži musí být dodrženo značení na bočnici (inside/outside). [2]

Nárazník (= korunní kordová vrstva, na obr.č. 17 číslo 1) – jedná se o přechodovou vrstvu mezi běhounem a kostrou. Zlepšuje dynamické spojení mezi kostrou a běhounem, stabilizuje běhoun v obvodovém směru a zvyšuje odolnost pláště proti

průrazu. Dříve u diagonálních pneumatik byl nárazník tvořen polyamidovými kordy, ale v dnešní době radiálních pneumatik je tvořen výhradně ocelového kordu. U nákladních vozů je nárazník tvořen 3 až 4 vrstvami, u osobních se používají vrstvy pouze dvě. [3], [4]

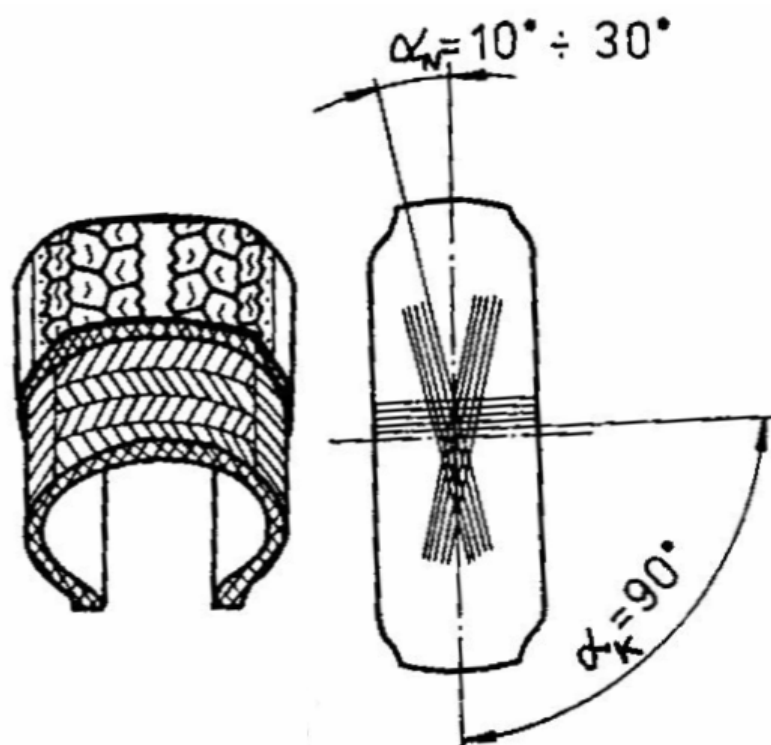
Kostra (= kordová vrstva, na obr.č. 17 číslo 3) je základní částí pláště a určuje nejdůležitější vlastnosti pneumatiky (jízdní vlastnosti, nosnost, tvar atd.). Kostra je tvořena z pogumovaných kordových vláken, která jsou zakotvena kolem patních lan. První pneumatiky měly kostru vyrobenou z juty, později plátěnou, následně byla tvořena bavlněnými vlákny a další vývoj přinesl umělé hedvábí. V dnešní době je kostra tvořena především ocelovými dráty, skleněnými vlákny a dalšími plně syntetickými vlákny. Podle konstrukce kostry (i nárazníku) se dají pneumatiky rozdělit na dva základní druhy: *diagonální* a *radiální*. [3], [4]

- Diagonální pneumatiky (viz. obr.č. 19) – jedná se vývojově o starší typ pneumatik. Kordové vrstvy tvořící kostru pneumatiky jsou položeny šikmo od jednoho patního lana k druhému ve střídavém směru. Jednotlivé nitě svírají s obvodovou kružnicí úhel α_k v rozmezí 30° - 40° . Tento úhel má velký význam na dynamické síly působící na pneumatiku (svislé, podélné a příčné síly). Dokud byly vyráběny pneumatiky do rychlosti 150 km/h byl úhel nití kolem 40° , se zvyšující se rychlostí (až 210 km/h) se úhel zmenšoval až k 30° , čímž se vlákna prodlužovala a pneumatika ztrácela odolnost (tím i bezpečnost) vůči příčným silám. Další nevýhodou diagonálních pneumatik je vyšší namáhání nití na stříh v důsledku zatížení. To má za následek větší tepelné namáhání, z kterého plyne snižování životnosti pneumatiky. Diagonální pneumatiky také nemají ideální kontakt s vozovkou – při malém zatížení má kulatý tvar, naopak při velkém zatížení je střed od vozovky oddalován a styk zprostředkovávají především okraje běhounu. Kvůli těmto vyjmenovaným vlastnostem byly vyvinuty pneumatiky radiální. [1]



Obr. č. 19 - Diagonální pneumatika [1]

- Radiální pneumatiky (viz. obr.č. 20) – kordové nitě vnitřních vrstev kostry radiálních pneumatik jsou kladeny v kolmém směru vůči obvodové kružnici. Vzdálenost nitě od patky k patce je tedy nejkratší. Naopak kordové nitě vnějších vrstev jsou kladeny ve směru otáčení pneumatiky. Tato konstrukce kostry pozitivně ovlivňuje jízdní vlastnosti. Radiální pneumatiky lépe zachycují boční síly, což má za následek, že při bočním zatížení zůstává větší část běhounu ve styku s vozovkou. Další výhodou je, že díky nárazníku mají radiální pneumatiky větší obvodovou tuhost pláště. Díky tomu radiální pláště vykazují lepší adhezi, nižší opotřebení (smykové napětí mezi paralelními vlákny je malé), větší odolnost proti průrazu a menší valivý odpor. Z těchto výhod jasně vyplývá, že dnes jsou vozidla provozována téměř výhradně na radiálních pneumatikách. [1]



Obr. č. 20 - Radiální pneumatika [1]

Vnitřní vložka (= vrstva vzduchotěsné gumy) – jedná se o vnitřní vrstvu pneumatiky, mající funkci duše používané dříve. Pro výrobu se používá butylový kaučuk. [3], [4]

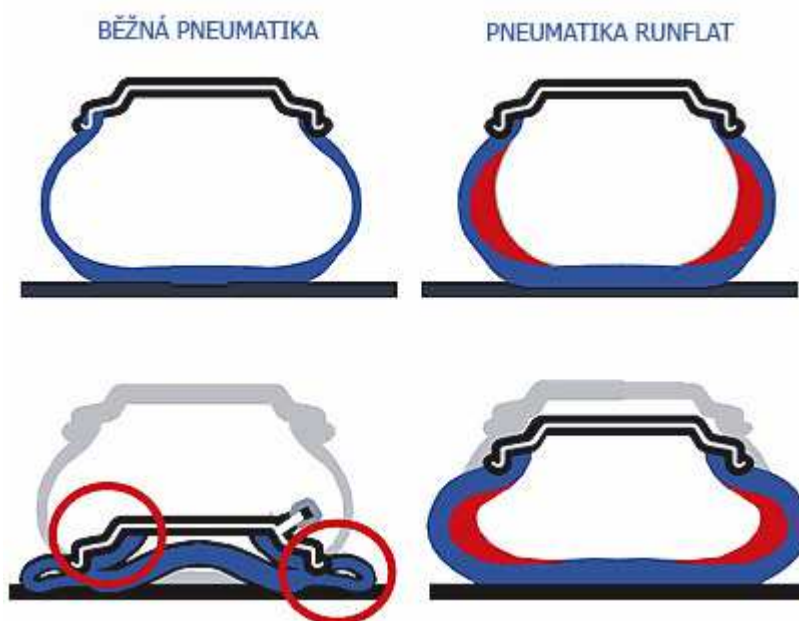
Bočnice – slouží k ochraně bočních částí kostry a spojuje patky s běhounem. Je vyrobena z přírodního kaučuku, musí odolávat ohybu, povětrnostním vlivům, ozónu a stárnutí. Aby bylo stárnutí zmírněno, přidávají se při výrobě do kaučukové směsi bočnice antioxydanty a antiozonanty. Bočnice také slouží k vyznačení údajů identifikující pneumatiku. [3], [4]

Patka – jedná se o zesílenou část dosedající na ráfek disku. Působením tlaku vzduchu je na ráfek přitlačována a nesmí dovolit úniku vzduchu z pneumatiky. Patka je tvořena ohnutými kordovými vložkami kolem patních lan, které jsou vyrobeny z kvalitního ocelového drátu, který je pokryt mědí nebo mosazí kvůli zvýšení přilnavosti pryže. Pneumatiky osobních vozů jsou vybaveny pouze jedním patním lanem, u nákladních jsou pro zpevnění použita dvě. Přejít z patky na bočnici tvoří tzv. jádro z tuhé pryžové směsi, které je spojeno s vnějším obvodem lana. Lano s jádrem a zahnutými

vložkami kostry je obaleno tzv. *křídlem* z textilního kordu. Proti mechanickému poškození je patka ochráněna pogumovanou vrstvou kordu. [3], [4]

3.3 RUNFLAT PNEUMATIKY

Jedná se o pneumatiky s vyztuženou bočnicí, umožňující pokračovat v jízdě i při úbytku nebo ztrátě tlaku. Vyztužená bočnice udrží pneumatiku na ráfku a zamezí jejímu zborcení pod tíhou vozidla. Jde o pneumatiky nahrazující rezervní kolo. Jelikož při ztrátě tlaku se pneumatika nezborčí a výrazně se nezmění jízdní vlastnosti vozidla, je nutná přítomnost palubního systému TPMS, monitorující tlak v pneumatikách. Nevýhodou runflat pneumatik je tvrdší jízda způsobená tužší bočnicí. Mezi další nevýhody se řadí vyšší hmotnost, valivý odpor a také cena. I přes některé vyjmenované nevýhody jsou pneumatiky dostupné a využívají se v běžném provozu. Porovnání chování runflat pneumatiky s obyčejnou v případě ztráty tlaku je na obr.č. 21. [5]



Obr. č. 21 - Srovnání runflat a běžné pneumatiky [5]

3.4 DOJEZDOVÁ KOLA

Dojezdová kola (obr.č. 22) slouží jako náhrada plnohodnotné rezervní pneumatiky. Jejich výhoda spočívá v menší šířce běhounu oproti plnohodnotné pneumatice. Díky

této menší šířce šetří prostor v zavazadlovém prostoru a jejich váha je také nižší. Menší šířka běhounu ovšem přináší i negativní vlastnosti. Mezi ně patří snížení maximální rychlosti na 80 km/h a nutnost opatrnější jízdy. Její menší šířka způsobuje rozdíl v přilnavosti oproti ostatním pneumatikám na vozidle, což se především projeví při průjezdu zatáčkami. Dojezdové pneumatiky je dobrá alternativa pro úsporu prostoru v kufru bez nutnosti vyšší investice v podobě runflat pneumatiky. [8], [9].



Obr. č. 22 – Dojezdové kolo [8]

3.5 ZNAČENÍ PNEUMATIK

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, bočnice pneumatik slouží také k umístění identifikátorů pneumatiky. Tyto informace jsou důležité při výběru vhodné pneumatiky pro vůz. Jednotlivé značky a údaje uvedené na bočnici jsou na obr.č. 23. [1], [3]



Obr. č. 23 - Značení pneumatik [3]

Podle předpisu EHK se značení pneumatik osobních automobilů skládá z těchto údajů:

- jmenovitá šířka pneumatiky B (mm)
- profilové číslo pneumatiky (H/B – poměr výšky k šířce v %)
- označení konstrukce (R – radiální, ‘-’ - diagonální)
- jmenovitý průměr ráfku d (v mm nebo palcích)
- index nosnosti
- kategorie rychlosti

Příklad značení pneumatik osobních vozidel: 175 / 70 R14 84S

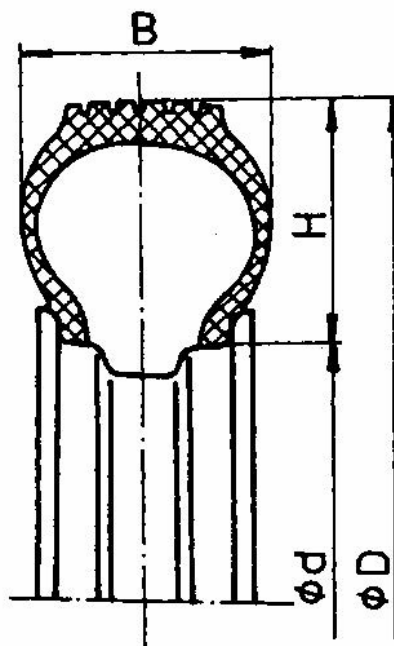
- 175 – značí šířku pneumatiky v mm
- 70 – profilové číslo
- R – konstrukce pneumatiky – radiální

- 14 – průměr ráfku v palcích
- 84 – index nosnosti (maximální nosnost 500 kg)
- S – kategorie rychlosti (maximálně 180 km/h)

Značení pneumatik pro nákladní vozidla je velmi podobné, jen index nosnosti obsahuje dvě čísla. První číslo značí nosnost při jednomontáži, druhé náleží případu dvoumontáže (např.: 315 / 80 R22 154/149 M). [1], [3]

Jmenovitá šířka (B) – je příčná vzdálenost od jedné bočnice k druhé. Udává se v milimetrech (případně v palcích).

Profilové číslo (= série, $(H/B)*100$) – vyjadřuje poměr mezi výškou pneumatiky (H) a její šířkou (B). Velikost je udávána v procentech. Postupným vývojem pneumatik dochází ke zmenšování profilového čísla jak u osobních tak i u nákladních vozidel. Menší poměr H/B přináší jisté výhody. Při stejném vnějším průměru a stejném huštění může mít pneumatiky vyšší objem, čímž se zvýší pohodlí případně i nosnost. Lze ovšem i při zachování stejného objemu zmenšit vnější průměr, což má za následek snížení těžiště. Můžeme také při stejném objemu zvětšit průměr ráfku, tím získáme více prostoru pro brzdy, které mohou mít větší průměr i účinnost. V neposlední řadě nižší bočnice snižuje směrovou úchylku a zvyšuje stabilitu a bezpečnost. [1], [3]



Obr. č. 24 - Označení hlavních rozměrů pneumatiky [1]

Konstrukce pneumatiky – radiální (*R*) nebo diagonální (*D*, -). Tato problematika je podrobně rozebrána v kapitole Konstrukce pneumatik. [1], [3]

Průměr ráfku – průměr dosedací plochy ráfku, resp. vnitřní průměr pneumatiky (od patky k patce). Velikost je udávána v palcích. [1], [3]

Index nosnosti (= load index - LI) – symbolické číslo určující maximální nosnost pneumatiky při rychlosti určené kategorií rychlosti za daných specifických podmínek. Převodní tabulka indexem nosnosti a dovozenou nosností je v tab.č. 3. [1], [3]

Tab. č. 3 - Převodní tabulka indexu nosnosti [6]

<i>LI</i>	<i>Nosnost (kg)</i>	<i>LI</i>	<i>Nosnost (kg)</i>	<i>LI</i>	<i>Nosnost (kg)</i>
70	335	89	580	108	1000
71	345	90	600	109	1030
72	355	91	615	110	1060
73	365	92	630	111	1090
74	375	93	650	112	1120
75	387	94	670	113	1150
76	400	95	690	114	1180
77	412	96	710	115	1215
78	425	97	730	116	1250
79	437	98	750	117	1285
80	450	99	775	118	1320
81	462	100	800	119	1360
82	475	101	825	120	1400
83	487	102	850	121	1450
84	500	103	875	122	1500
85	515	104	900	123	1550
86	530	105	925	124	1600
87	545	106	950		
88	560	107	975		

Kategorie rychlosti (= rychlostní symbol GSY) – informuje o nejvyšší přípustné provozní rychlosti pneumatiky. Převod mezi kategorií rychlosti značenou písmeny a nejvyšší rychlostí je v tab.č. 4. [1], [3]

Tab. č. 4 - Převodní tabulka indexu rychlosti [6]

<i>Index rychlosti</i>	<i>Nejvyšší rychlosti do [km/h]</i>
G	90
J	100
K	110
L	120
M	130
N	140
P	150
Q	160
R	170
S	180
T	190
U	200
H	210
V	240
W	270
Y	300

3.6 OPOTŘEBENÍ PNEUMATIK

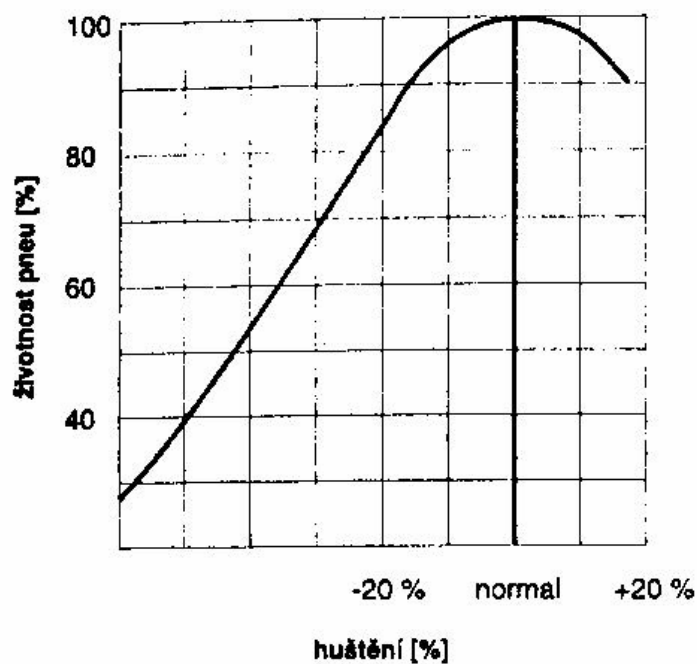
Opotřebení (životnost) pneumatik je závislé na jejich kvalitě a na provozních podmínkách, mezi které řadíme styl jízdy, kvalitu povrchu, teplotu a síly působící ve stopě pneumatiky. Životnost pneumatik se snižuje s rychlostí, při průjezdu zatáčkou dokonce se 4. mocninou rychlosti. Podobné dopady má i prudká akcelerace i brzdění. [1]

Životnost pneumatiky je vyjadřována kilometrovým proběhem, který pneumatika absolvuje od nasazení nového pláště do opotřebení dezénových drážek na zákonem stanovenou hloubku. V České republice je minimální povolená hloubka 1,6

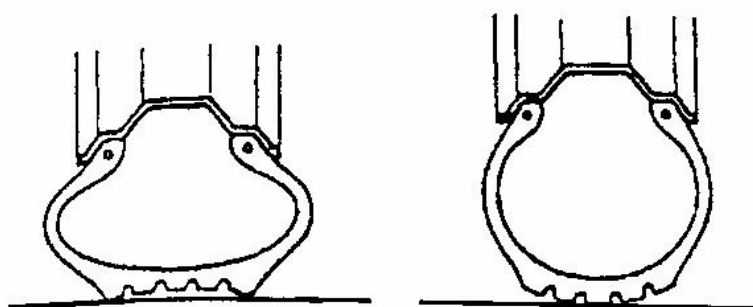
milimetru pro letní období (především tedy pro letní pneumatiky) a 4 milimetry pro zimní pneumatiky (zimní pneumatiky za nepříznivých povětrnostních podmínek). Životnost může ovšem být i nižší (než dojde k opotřebení dezénových drážek), tento případ nastane při poruše, která vede k vyřazení pneumatiky z provozu (neopravitelný defekt, špatný stav kostry apod.). Obecně pokud skončí životnost pneumatiky z jakékoliv příčiny, je nutné ji vyměnit, neboť z více jak 50% ovlivňuje jízdní vlastnosti vozidla, tím i bezpečnost provozu. [1]

Jak již bylo v úvodu zmíněno, opotřebení je závislé na samotné pneumatice a na provozních podmínkách. Je zřejmé, že vlastnosti pneumatiky nezměníme, ovšem provozní podmínky do jisté míry lze ovlivnit. Mezi podmínky, které můžeme ovlivnit se řadí správné nastavené sbíhavosti, jízdní styl, povrch vozovky, správnou funkci tlumičů, zatížení, teplotu a v neposlední řadě i správné huštění. [1]

Dodržování správného tlaku pneumatik je důležité jak z pohledu jejich životnosti tak i bezpečnosti provozu. Nejvyšší životnost pneumatika dosáhne při optimálním tlaku určeným výrobcem vozidla (viz obr.č. 25). Zvýšený tlak způsobuje ojíždění střední části běhounu. Naopak nižší tlak (v praxi mnohem častější) dochází k dosednutí okrajových částí pneumatiky, které se pak výrazněji opotřebovávají oproti střední části a pneumatika se také více zahřívá (viz. obr.č. 26). Vlivem nesprávného huštění dochází k negativnímu ovlivnění jízdních vlastností a vyššímu opotřebení pneumatik, které může vést až k separaci samotného běhounu. Stejně důsledky jako podhuštěná pneumatika má i přetížená. Z hlediska životnosti i bezpečnosti provozu je nutné udržovat tlak na všech pneumatikách jízdní soupravy na předepsané hodnotě. [1]



Obr. č. 25 - Závislost tlaku pneumatiky na její životnosti [1]



Obr. č. 26 - Ukázka podhuštěné a přehuštěné pneumatiky [1]

3.7 KONTROLA TLAKU V PNEUMATIKÁCH

Na základě nařízení Evropského parlamentu a rady č. 661/2009 musí mít od 1.11.2012 všechna nově homologovaná vozidla a od 1.11.2014 i všechna vyráběná vozidla v EU schválené systémy pro signalizaci nesprávného tlaku v pneumatikách (TPMS = Tyre Pressure Monitoring System). Tyto systémy musí řidiče upozornit (buď vizuálně nebo akusticky) na úbytek tlaku v pneumatice. Toto opatření má za úkol snížit

spotřebu paliva, tím i vypouštěných emisí a zároveň i zvýšit bezpečnost provozu na pozemních komunikacích. [22], [24]

Pro kontrolu tlaku v pneumatikách se používají základní dva systémy. Prvním z nich je tzv. *přímý*, který pomocí senzoru umístěného na disku (ventilku, obr.č. 27) měří přímo tlak v pneumatice, případně i teplotu. Signál z těchto senzorů je odesílán k vyhodnocení a v případě zjištění úbytku tlaku se na přístrojové desce vozidla rozsvítí symbol pneumatiky (viz obr.č. 28). Druhý systém vyhodnocuje tlak v pneumatice nepřímým (*nepřímý* systém) z údajů z ABS a ESP. V případě úniku tlaku se změní poloměr pneumatiky, změní se její otáčky, což oba systémy zaznamenají a systém řidiče varuje pomocí signalizace. [25]



Obr. č. 27 - Kolový ventil se senzorem [25]



Obr. č. 28 - Kontrolka TPMS na přístrojové desce [24]

Starší vozidla, která z továrny nebyla systémem TPMS vybavena si mohou řidiči těmito systémy dovybavit. Na trhu existují různé univerzální sady, kterými lze vybavit téměř každé vozidlo. Nejlevnější a nejjednodušší variantu představují tzv. **chytré ventilký**. Jedná se o jednoduché mechanické zařízení, které se montuje místo čepičky ventilku. Pokles tlaku je indikován změnou barvy vrcholu čepičky. Systém rozeznává tři

stavy (viz. obr.č. 29): plný tlak (zelená barva), pokles o 20% (žlutá barva) a pokles tlaku vyšší jak 20% (červená barva). Indikace je závislá na jmenovitém tlaku, na který je ventilek určen. Univerzální jsou pro tlak 2,2 – 2,6 bar a přesné jsou pro tlak předepsaný výrobcem vozidla. [23]



Obr. č. 29 - Indikace tlaku pomocí chytrého ventilků [23]

Další variantou přídatného systému TPMS je instalace kolových ventilů se snímači tlaku (jako přímý systém u nových vozidel) a palubní jednotky pro vyhodnocování a varování řidiče. Systém dokáže téměř online (signál od kol je vyslán po několika vteřinách) informovat řidiče a tlaku v jednotlivých pneumatikách, jejich teplotě, stavu baterií ve snímačích, případně dalších informací. Navíc tyto systémy mohou pracovat i v zaparkovaném vozidle, proto uživatelé mohou nahlásit chybný tlak už před výjezdem. Ukázka tohoto systému je na obr.č. 30. [26]



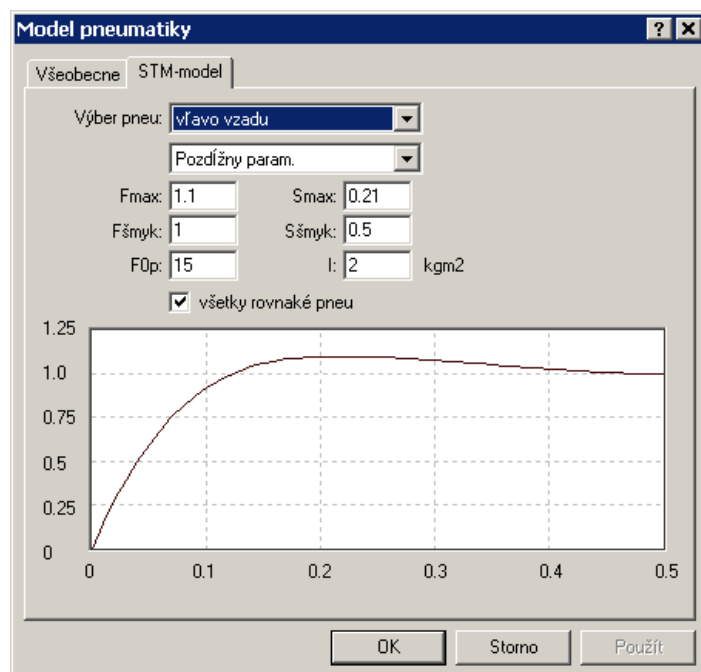
Obr. č. 30 - Přídavný přímý systém TPMS [26]

3.8 MODEL Y PNEUMATIK POUŽÍVANÉ V SIMULAČNÍCH PROGRAMECH

Simulační programy *Virtual Crash* a *PC Crash* mají pro mnoho modelů automobilů již předdefinované typy a rozměry pneumatik, které danému modelu v základní výbavě náleží. Avšak v případě potřeby může uživatel volit libovolnou šířku, profil i průměr pneumatik a u nákladních vozidel i případnou dvoumontáž pro danou nápravu. Tyto všechny parametry je možno zvolit pro každou nápravu různé. [13], [14]

Oba simulační programy dále umožňují volbu mezi dvěma modely pneumatik: *lineární* (ve starších verzích jako jediný model) a model tzv. *TMEASY*. Pro *lineární* model je možné zadat u každé pneumatiky maximální úhel směrové úchyly, který definuje velikost boční vodící síly. Protože se jedná o model lineární, tak velikost boční síly roste s úhlem směrové úchyly lineárně. Maximální úhel směrové úchyly je standardně nastaven na 10, ale tato hodnota je platná pouze pro koeficient tření = 1 (v případě koef. tření = 0,75 je max. úhel směrové úchyly 7,5). V případě brzdění se maximální boční vodící síla určuje podle třecí kružnice (Kammova kružnice). [13], [14].

Druhým modelem používaným ve vyšších verzích obou simulačních softwaru je model *TMEASY*. Je to komplexnější model založený na semi-fyzikálním přístupu umožňující zadat charakteristiku pro jednotlivá kola a zohlednit jejich nelineární průběhy. Tento model dokáže věrně simulovat pohyb pneumatiky v podélném směru a rotační pohyb. Oproti lineárnímu modelu je vhodný pro modelování všech jízdních situací, parkování i pro manévry v klidu. V softwaru *PC Crash* se zadávají podélné a příčné parametry F_{max} udávající sílu při skluzu S_{max} , F_{smyk} a S_{smyk} označují přechod do smyku. Parametr F_{0p} popisuje počáteční vzestup křivky. [13], [14], [15].



Obr. č. 31 - Nastavovací okno pro model TMEASY

4. ROZBOR MĚŘÍCÍCH METOD PRO ZJIŠTĚNÍ VLIVU DEFEKTU PNEUMATIKY NA CHOVÁNÍ VOZIDLA

Kapitola blíže rozebírá přípravu jednotlivých testů, pro posouzení vlivu defektu na chování vozidla, představuje veličiny a parametry, které jsou sledovány a v neposlední řadě i pomůcky a měřicí přístroje potřebné k provedení testů.

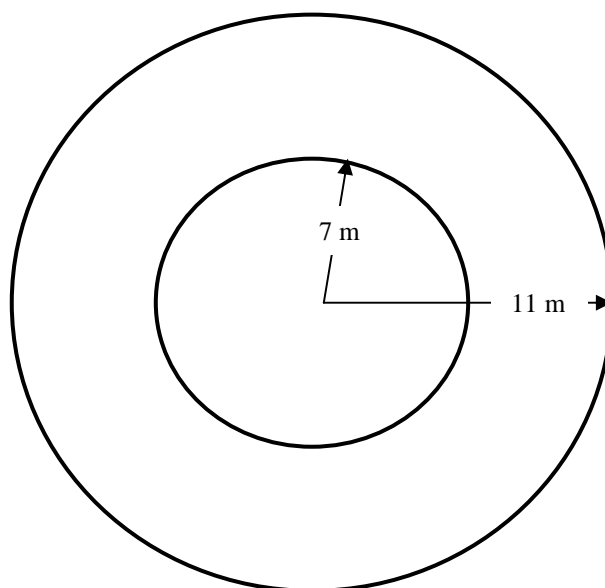
4.1 ROZBOR METOD PRO MĚŘENÍ VLIVU DEFEKTU S ČÁSTEČNÝM ÚNIKEM TLAKU

Tato podkapitola popisuje a přibližuje jízdní zkoušky, na kterých jsou dokazovány negativní vlivy defektu s částečným únikem tlaku na chování vozidla. K částečnému úniku tlaku může v praxi dojít v případě zachycení předmětu (např. hřebík) v pneumatice, díky čemuž může touto netěsností se tlak snižovat.

4.1.1. Kruhová zkouška

Ustálená jízda po kruhové dráze (= statická říditelnost) je jízdní zkouška určující směrovou stabilitu vozidla (viz. mezinárodní standard ISO 4138). V našem případě zkouška probíhala na kruhové dráze o středním poloměru 9 m. Vzhledem k porovnatelnosti výsledků byla rychlost při všech jízdách stejná a zároveň menší než mezní ($v_{mez} = \sqrt{r \cdot g \cdot \mu}$, kde r je poloměr kruhové dráhy, g je gravitační zrychlení a μ je součinitel adheze). Kruhové zkoušce se nejdříve podrobilo vozidlo z nahuštěnými pneumatiky dle doporučení výrobce (2 bar pro obě nápravy), čímž jsme získaly etalon, se kterým budeme srovnávat vozidla se simulovaným defektem. Defekt je simulován postupně na každém kole (jedno kolo má nižší tlak než zbývající, které mají předepsané 2 bary) ve dvou úrovních. První úroveň představuje snížení tlaku před jízdou na ½ (1 bar) a druhá na ¼ (0,5 bar) tlaku předepsaného výrobcem. Po simulování defektu jednoho kola následují testy simulující defekt na celé nápravě opět ve dvou úrovních (obě přední kola se sníženým tlakem na 1 a poté 0,5 baru při plném tlaku zadních a následně na druhé nápravě). Pro eliminaci chyb pro každou variantu simulovaného defektu provedeme 3 měření, která následně zprůměrujeme. Z každého měření získáme hodnoty o úhlu natočení volantu, graf bočního zrychlení a subjektivní popis chování

vozidla od řidiče (autora této práce). Po provedení všech měření získané hodnoty zpracujeme, porovnáme s etalonem a vyhodnotíme.



Obr. č. 32 - Rozměry zkušební dráhy

4.1.2. Brzdná zkouška

Brzdnou zkouškou se při většině testů zjišťuje brzdná dráha, čas do zastavení, rychlost na počátku brzdění a střední plné brzdné zpomalení (MFDD), podle kterého se dle homologačních předpisů EHK č.13 zjišťuje účinnost brzdových systémů. Střední hodnota úplného brzdného zpomalení (MFDD) je vypočtena jako střední zpomalení s ohledem na ujeté vzdálenosti v intervalu V_b až V_e dle následujícího vzorce:

$$MFDD = \frac{V_b^2 - V_e^2}{25,92(s_e - s_b)} \left[m/s^2 \right], \quad (24)$$

kde V_0 – počáteční rychlost vozidla v km/h,

V_b – rychlost vozidla při 0,8 V_0 v km/h,

V_e – rychlost vozidla při 0,1 V_0 v km/h,

S_b – vzdálenost ujetá mezi V_0 a V_b v metrech,

S_e – vzdálenost ujetá mezi V_0 a V_e v metrech.

V našem případě kromě těchto veličin budeme hodnotit i úhel samovolného natočení (bez zásahu řidiče) volantu při brzdění a údaj o tom, které kolo se zablokovalo dříve. Defekt bude opět simulován postupně na jednotlivých kolech upuštěním tlaku na 0,5 baru před jízdou. Měření pro každý simulovaný defekt proběhne dvakrát pro eliminaci chyb a výsledky budou zprůměrovány.

4.2 ROZBOR METOD PRO MĚŘENÍ VLIVU DEFEKTU S ÚPLNÝM ÚNIKEM TLAKU

V této podkapitole jsou popsány jízdní zkoušky, na kterých je prokazován vliv defektu s okamžitým únikem tlaku na chování vozidla. Dále je zde vysvětleno a znázorněno, čím bylo defektu dosahováno.

4.2.1. Roztržení pneumatiky

K dosáhnutí defektu, při kterém dojde k okamžitému úniku tlaku bylo třeba vyrobit hrot, který v pneumatice vytvoří dostatečně velký otvor, který se pružností pryže samovolně nezacelí a nezamezí úniku vzduchu. Po mnoha pokusech bylo zjištěno, že nejlepších výsledků je dosahováno s železným L profilem tloušťky cca 3 mm upraveným do tvaru dvou ostří. Tento profil byl přivařen na podstavu o rozměrech cca 4 x 4 cm (viz obr.č. 33), aby mohl stabilně stát na vozovce a po přejetí běhounem pneumatiky jeho ostří rozřízlo dostatečně pneumatiku. Díky tomuto hrotu může být simulováno roztržení pneumatiky v běžném provozu dosáhnutého skleněným střepem, ostrým kamenem, šroubem z nápravnice, vyčnívajícím roxorem z betonu apod.



Obr. č. 33 - Hrot

Na vyrobený hrot bylo při testech najížděno běhounem pneumatiky, do kterého se ve většině případů zaklíníl a způsobil únik tlaku aniž by roztrhl pneumatiku na další nápravě. Po zachycení hrotu byl v pneumatice vytvořen dostatečně velký otvor (viz obr.č. 34), kterým během několika otáček kola (cca do 1 vteřiny) unikl veškerý tlak.



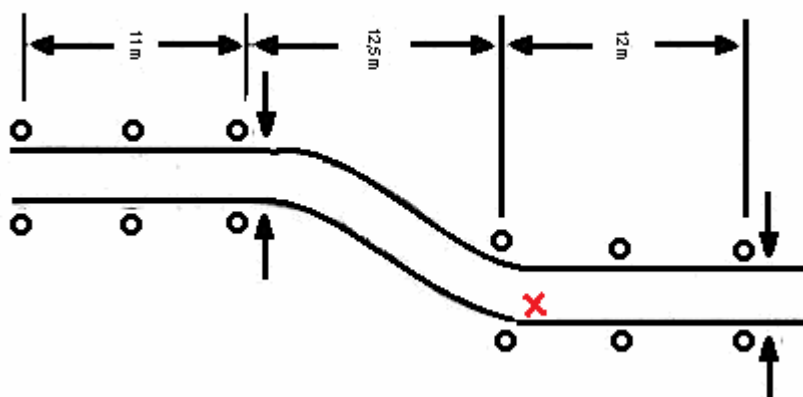
Obr. č. 34 - Roztržená pneumatika od hrotu

4.2.2. Přímá jízda

Hodnocení vlivu defektu s náhlým únikem tlaku bylo prováděno na rovné přímé dráze o šířce 3m. Na počátku této vytyčené dráhy byl přichystán hrot pro proražení pneumatiky, proto byl zbytek dráhy projet s defektem a bylo možno zjistit jak se vozidlo chová a jaké opatření je nutné učinit aby byla dráha projeta. Ve všech případech byl hrot umístěn na levé straně. Bylo tomu tak z důvodu přesnosti najetí na hrot, protože řidič ve vozidle sedí na levé straně, proto má na této polovině lepší odhad. Samotné testy probíhaly podobně jako při defektu s částečným únikem tlaku. Dráha byla nejdříve projeta s vozidlem s plně nahuštěnými pneumatikami (etalon) a následně byl simulován defekt na přední a zadní nápravě. Při všech pokusech bylo opět zaznamenáváno boční zrychlení, úhel natočení (korekce) volantů a záznam z kamery vně i uvnitř vozidla. Z každého pokusu byly tyto data uchována a vyhodnoceny.

4.2.3. Vyhýbací manévr

Druhým testem pro hodnocení vlivu náhlého defektu na jízdní vlastnosti byl vyhýbací manévr (= losí test). Ten simuluje jízdu jak levotočivou tak i pravotočivou zatáčkou, takže jednotlivé pneumatiky jsou během testu přitíženy i odlehčeny. Při chystání dráhy pro losí test jsme vycházeli z mezinárodní normy ISO 3888. Bohužel kvůli nedostatku místa musela být použita pouze polovina této standardizované dráhy. Rozměry použité části dráhy jsou znázorněny na obr.č. 35.

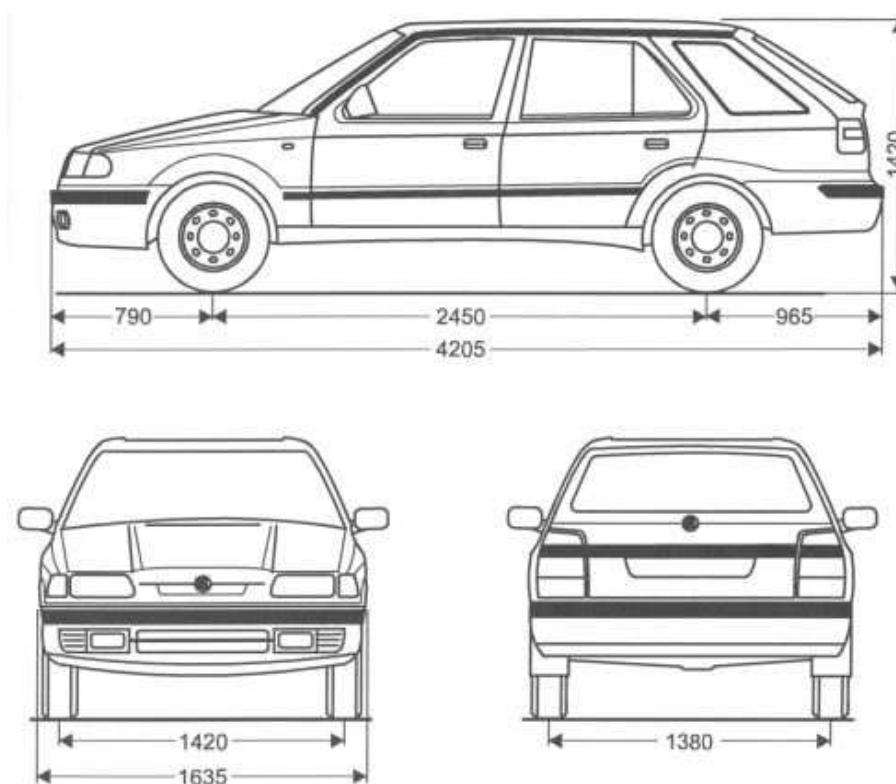


Obr. č. 35 - Vyhýbací manévr

Dráha použitá v našem případě začínala rovinkou, po ní následovala pravotočivá zatáčka, následně levotočivá a končila opět rovným úsekem. Hrot pro proražení pneumatiky byl umístěn těsně před první zatáčkou (viz obr.č. 35). Dráha tedy byla projížděna již s defektem, který nastal při dané rychlosti vozidla. I v případě vyhýbacího manévru dráhu nejdříve projelo vozidlo s pneumatikami nahuštěnými na tlak jaký předepisuje výrobce vozidla (2 bary), aby byl vytvořen etalon a následně mohly být simulovány defekty na přední (levé přední kolo) i zadní nápravě (levé zadní kolo). Defekty byly, stejně jako při přímé jízdě, simulovány na levé polovině vozidla. Opět to bylo vzhledem k přesnosti najetí na hrot. Při všech jízdách byly stejně jako v minulém případě zaznamenávány průběhy bočního zrychlení, úhel natočení volantu i záznamy chování vozidla z vnitřní i vnější kamey.

4.3 TESTOVACÍ VOZIDLO

Pro provedení experimentálních měření bylo použito vozidlo Škoda Felicia Combi. Jedná se o vozidlo bez systému ABS a jakýchkoliv jiných elektronických systémů, které by mohly ovlivnit zkoušku. Bližší technické parametry vozidla jsou v tab. č. 5 a rozměry vozidla jsou na obr.č. 36.



Obr. č. 36 - Rozměry vozu Škoda Felicia Combi [19]

Tab. č. 5 - Technické parametry Škoda Felicia Combi [18]

Motor	136i / 50 kW, zážehový, kapalinou chlazený řadový čtyřválec, OHV, uložený vpředu napříč, třícestný řízený katalyzátor, nepřímé jednobodové vstřikování paliva Bosch Monomotronic, elektronické bezdotykové zapalování
Pohon	Předních kol
Počet válců	4
Zdvihový objem [cm³]	1289
Max. výkon [kW]	50 při 5500 ot/min
Max. točivý moment [Nm]	100 při 3750 ot/min
Max. rychlost [km/h]	145
Zrychlení 0-100 km/h [s]	17
Spotřeba (dle metodiky EHK) - 90 km/h / 120 km/h / město / průměrná	5,4 / 7,3 / 8,0 / 6,9
Spojka	Jednokotoučová suchá, mechanicky ovládaná
Převodovka	mechanická 5 stupňová s přímým řazením, plně synchronizovaná
Vnější průměr zatačení[m]	10,5
Pohotovostní hmotnost [kg]	970 – 1025
Užitečná hmotnost [kg]	485 – 430
Celková hmotnost [kg]	1490
Karoserie	samonosná, ocelová, pětidvéřová, pětimístná, dvouprostorová, combi, s protikorozní ochranou
součinitel odporu vzduchu c_w	0,355
Přední náprava	typu MC Pherson se spodními trojúhelníkovými rameny
Zadní náprava	kliková s vlečnými rameny a příčným zkrutným stabilizátorem, COMBI bez stabilizátoru
Brzdy	kapalinové dvouokruhové, diagonálně propojené s podtlakovým posilovačem
Brzdy přední	kotoučové s jednopístovými plovoucími třmeny
Brzdy zadní	bubnové se dvěma samostavitelnými čelistmi
Parkovací brzda	ruční mechanická na zadní kola
Objem palivové nádrže [l]	42

Vozidlo je ve vynikajícím technickém stavu, na podvozku nejsou žádné vûle. Automobil je po výměně brzdového obložení i brzdových kotoučů, jednoho svislého a

jednoho kulového čepu řízení a horních uložení přední nápravy. Po opravách vozidlo prošlo kontrolou a seřízením geometrie a následně technickou kontrolou.



Obr. č. 37 - Vozidlo použité pro měření

Pro měření vlivu defektu s částečným únikem tlaku bylo vozidlo vybaveno na přední nápravě pneumatikami Matador MP12 175/60 R13 32T rok výroby 2006 a na zadní nápravě pneumatikami Michelin Energy XT1 165/70 R13 79T rok výroby 2002. Všechny pneumatiky měly hloubku dezénu kolem 2 mm a jsou určeny pro letní období. Pneumatiky byly před zahájením testu v dobrém stavu bez deformací, pouze nesly prvky stárnutí pryže (drobné praskliny na bočnicích). Pro hodnocení vlivu defektu s náhlým únikem tlaku byly použity různé pneumatiky (letní / zimní) o rozměrech 165/70 R13 a 175/70 R13. Doporučený tlak huštění pneumatik při běžné zátěži činí 2,0 bar pro přední i zadní nápravu. Tento tlak pneumatik je v testu také brán jako plný.

Jelikož vozidlo není vybaveno žádným elektronickým asistenčním systémem (ABS, ESP apod.), tak řídicí jednotka vozu nezaznamenává a nevyhodnocuje úhel natočení volantu, potažmo i kol. Proto pro odečítání úhlu bylo nutno volant ocejchovat po 10° a změny natočení zaznamenávat pomocí fotoaparátu s videozáznamem. Na volantu byla vytvořena zeleno-žlutá značka na pozici, kterou snímal fotoaparát při přímé jízdě. Od této značky byly po 10° vytvořeny další na celé polovině volantu (druhou polovinu nebylo pro testy nutno cejchovat). Fotoaparát byl pevně umístěn na přístrojové desce a snímal značky ze zadní strany volantu. Ze získaných záznamů byly následně úhly natočení odečteny a zapsány. Ukázka měřicí aparatury je na obr.č. 38 (bez nainstalovaného fotoaparátu, pouze schematicky zakreslena pozice).



Obr. č. 38 - Měření úhlu natočení volantu

4.4 TESTOVACÍ MÍSTA

Jelikož jednotlivé testy neprobíhaly ve stejnou dobu, bylo testovací místo pro defekt s částečným únikem tlaku odlišné od místa pro defekt s náhlým únikem tlaku. Ovšem povrchy na obou místech byly velmi podobné i s podobnými součiniteli adheze zjištěnými brzdou zkouškou.

4.4.1. Testovací místo pro defekt s částečným únikem tlaku

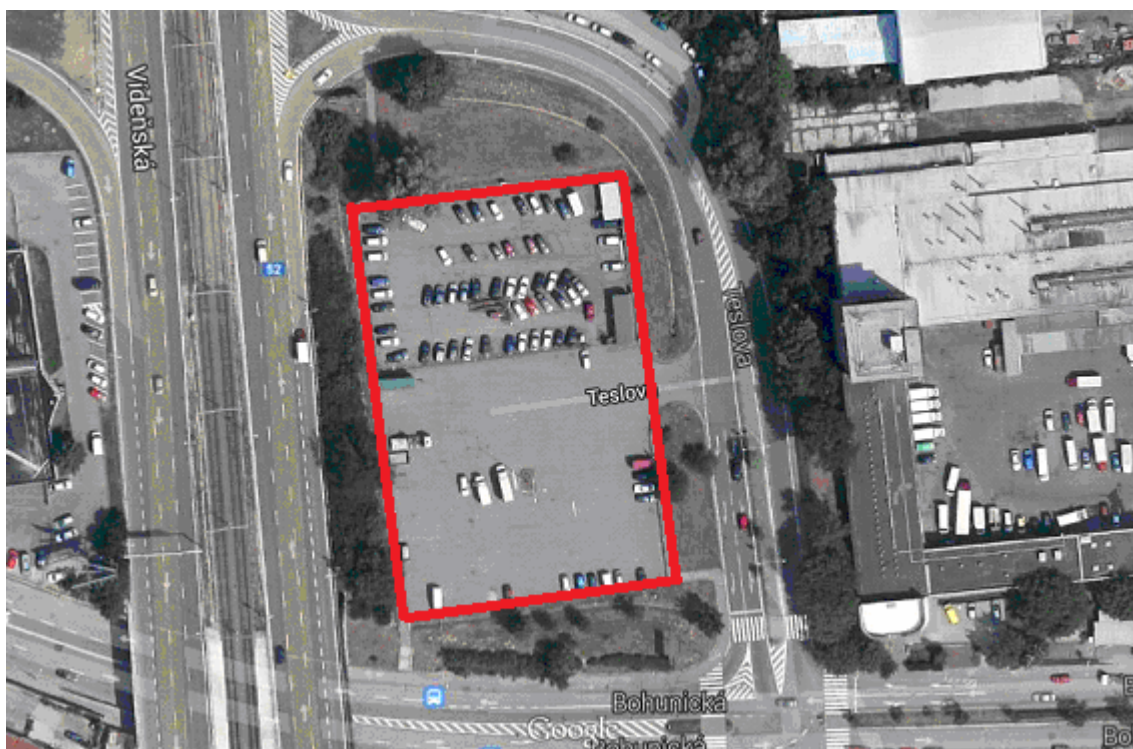
Pro provedení měření je nutno zajistit homogenní plochu s co největší rozlohou. V tomto případě byla pro měření plocha parkoviště na ulici Teslova (49°09'48.0"N 16°36'00.0"E, obr.č. 39) v blízkosti brněnských Delta pekáren o rozměrech cca 80 m x 50 m s hrubým živičným povrchem a mírným sklonem. Povrch je bez výraznějších vad,

které by mohly měření ovlivnit. Detail povrchu je na obr.č. 40. Součinitel adheze pro daný povrch byl zjištěn brzdou zkouškou a vypočítán dle vztahu:

$$\mu = \frac{a}{g}, \quad (25)$$

kde a je naměřené zpomalení a g je tíhové zrychlení. Brzdou zkouškou bylo naměřeno zpomalení $a = 6,4 \text{ m/s}^2$ (z rychlosti 47,3 km/h), z čehož plyne, že součinitel adheze pro daný povrch je $\mu = 0,65$. Z důvodu krátké rozjezdové dráhy nemohla být brzdá zkouška uskutečněna z vyšší rychlosti a proto zjištěný součinitel adheze může být od skutečného mírně odlišný.

Povětrnostní podmínky na testovacím místě byly daný den (10.5.2014) uspokojující: polojasno až oblačno, teplota kolem 20°C, mírný západní vítr kolem 16 km/h, bez srážek. Povrch vozovky byl celé měření suchý a bez nečistot. [28]



Obr. č. 39 - Testovací plocha (červeně vyznačena) – parkoviště u ulice Teslova [27]



Obr. č. 40 - Detail povrchu plochy

4.4.2. Testovací místo pro defekt s úplným únikem tlaku

Pro provedení testů pro náhlý únik tlaku pneumatiky byla využita plocha parkoviště vedle zámku v obci Kupařovice (49°2'31.114"N 16°29'25.451"E, obr.č. 41) o velikosti cca 80 x 40 m. Povrch byl velmi podobný povrchu parkoviště u ulice Teslova. Pomocí brzděné zkoušky (z rychlosti 45 km/h) a vztahu (25) z minulé kapitoly jsme zjistili, že součinitel adheze v tomto případě je $\mu = 0,62$, což je velmi podobný výsledek jako předchozí.

Povětrnostní podmínky na tomto testovacím místě byly při všech měřeních podobné: teplota 15 – 20°C, vítr mírný a povrch suchý.



Obr. č. 41 - Testovací plocha (červeně vyznačena) - parkoviště u zámku v Kupařovicích [27]

4.5 MĚŘÍCÍ PŘÍSTROJE A POMŮCKY

Při měření bylo nutné použít měřicí přístroje a různé pomůcky k zachycení důležitých veličin pro pozdější zpracování. V následujících podkapitolách bude jejich význam při měření blíže vysvětlen. Na obr.č. 42 jsou zachyceny měřicí pomůcky instalované ve vozidle.



Obr. č. 42 - Umístění měřících přístrojů ve vozidle

4.5.1. XL metr

XL metr je bateriový přístroj s LCD displejem sloužící pro měření zrychlení (zpomalení) ve dvou osách (příčné i podélné) až do velikosti 2g. K měření využívá kapacitního senzoru zrychlení skládajícího se z nezávisle upevněných destiček mezi nimiž se pohybuje centrální společná deska. Výkyvy centrální desky jsou přímo úměrné měřenému zrychlení. Pro správné uchycení je XL metr vybaven přísavkou pro instalaci na sklo (nejlépe čelní) a kloubem, kterým provádíme kalibraci. Tu je nutno provést po instalaci do vozidla a před započítím měření. XL metr dále nabízí několik režimů měření: okamžité měření provozní brzdy, okamžité měření zrychlení, měření bez vyhodnocení atd. Po zvolení vhodného režimu je možné uložit do paměti až 8 měření, která lze následně pomocí datového kabelu RS-232 a dodávaného softwaru XL Vision stáhnout do PC a později zpracovávat a hodnotit. [29]

Pro měření v této práci jsme využili režimy měření provozní brzdy a měření bez vyhodnocení (u kruhové zkoušky). Umístění XL metru jsme zvolili standardní na

čelním skle vozidla (viz. obr.č. 42), proto měření ve směru X náleží podélnému zrychlení a ve směru Y příčnému zrychlení.



Obr. č. 43 - XL metr [29]

4.5.2. Fotoaparát

Pro fotodokumentaci a pro videozáznamy úhlu natočení volantu byl použit fotoaparát Nikon Coolpix L20. Jedná se o malý a lehký fotoaparát s 10 miliony pixelů, s 3,6x zoomem napájený dvěma bateriemi AA. Umožňuje pořizovat fotografie v dostatečném rozlišení pro naše potřeby a ukládat je do formátu JPEG. Pro snímání úhlu natočení volantu byla využita funkce videosekvence, která nabízí 30 snímků/vteřinu při rozlišení 640 x 480 pixelů. Umístění fotoaparátu při snímání volantu je patrné na obr.č. 38. Všechny fotografie a videozáznamy byly ukládány na SD kartu pro pozdější zpracování. [30]

4.5.3. Kamera

Pro zachycení chování vozidla při průrazu pneumatiky bylo třeba mít u testovací dráhy umístěnou kameru se stativem. V tomto případě bylo využito kamery Canon HF10 HD umístěné tak, aby snímala vozidlo těsně před i po nájezdu na hrot. Všechny tyto záznamy byly pořizovány ve vysoké kvalitě (12Mbps) pro pozdější snadné vyhodnocení a ukládány na SD kartu.

4.5.4. GPS

Aby všechna provedená měření při zkouškách byla srovnatelná, je nutné aby proběhla při stejné rychlosti. Aby byla rychlost určena co nejpřesněji, bylo nutné pro její zjištění použít GPS navigaci. V tomto případě měření probíhalo za pomoci navigace TomTom Go 910 s přísavkou na sklo a s napájecím adapterem. Navigace je vybavena dotykovým širokouhlým displejem o rozlišení 480 x 272 pixelů. GPS přijímač má vysoký výkon díky velmi citlivému čipsetu Sirf Star III, proto měření probíhalo velmi přesně a bez výpadků signálu.

4.5.5. Ostatní pomůcky

Pro správný průběh měření bylo nutné ještě několik dalších pomůcek. Pro správné vyměření trati bylo nutné použít pásmo s délkou do 20 metrů. Takto vyměřená testovací trať byla třeba vyznačit, k čemuž slouží kužely, které byly v našem případě nahrazeny PET lahvemi s vodou. A nakonec pro zjištění správného tlaku v pneumatikách byl potřeba tlakoměr. Byl použit analogový se stupnicí do 3 bar (obr.č. 40). Přesnost tlakoměru byla porovnána s metrologicky testovaným tlakoměrem u benzínové pumpy. Odchyly byly zjištěny minimální, do 0,1 bar.



Obr. č. 44 - Tlakoměr

5. EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ Vlivu DEFEKTU NA JÍZDNÍ DYNAMIKU

Tato kapitola shrnuje výsledky jednotlivých testů a shrnuje jak dané defekty ovlivňují jízdní dynamiku vozidla a jaké opatření musí řidič učinit pro zmírnění jejich důsledků.

5.1 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ DEFektu S ČÁSTEČNÝM ÚNIKEM TLAKU

V této kapitole jsou rozebrány výsledky testů, které probíhaly při částečném úniku tlaku v pneumatice. Jedná se především o kruhovou zkoušku a brzdovou zkoušku.

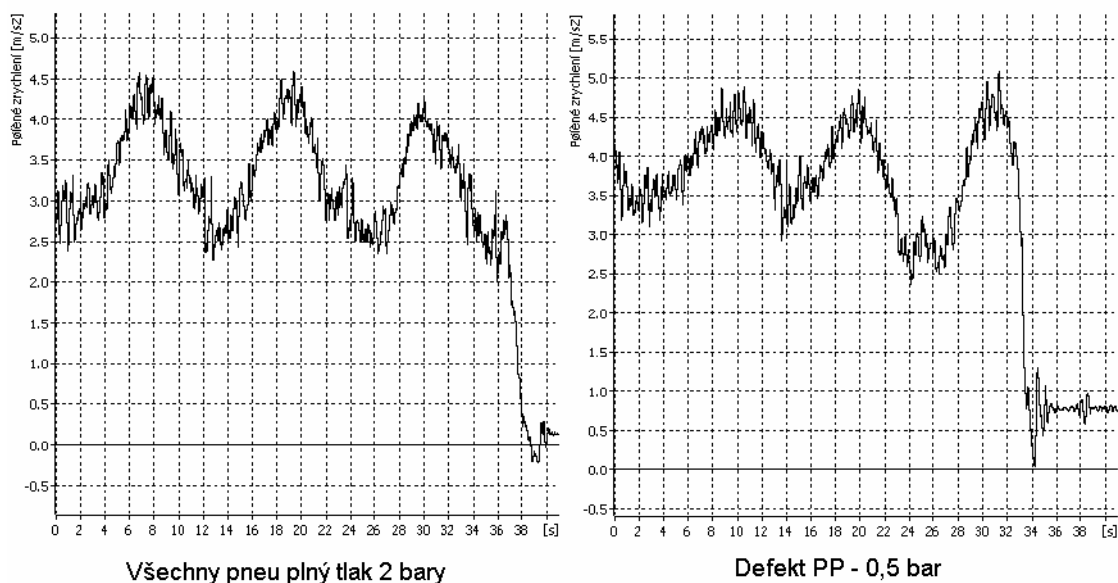
5.1.1. Kruhová zkouška

Před započítáním samotné kruhové zkoušky bylo nutné nastavit měřicí přístroje. Jelikož testovací plocha má mírný sklon, byla kruhová zkouška prováděna v horní polovině plochy, kde je sklon nejnižší. XL metr byl zkalibrován v příčném i podélném směru na 0 m/s^2 při postavení vozu příčně vůči sklonu. Poté byla ze vztahu $v_{mez} = \sqrt{r \cdot g \cdot \mu}$, (kde r je poloměr kruhové dráhy, g je gravitační zrychlení a μ je součinitel adheze) zjištěna orientační hodnota mezní rychlosti, která pro daný poloměr (9 m) a daný povrch (součinitel adheze 0,65) vychází 27 km/h. Následně jsme jízdní zkouškou zvolili optimální rychlost pro měření, která je 17 - 18 km/h. Při této rychlosti je možné udržet vozidlo v dané dráze i při simulovaných defektech. Měření bylo započato s vozidlem s nahuštěnými pneumatikami na tlak předepsaný výrobcem (2 bar pro obě nápravy) a poté již byly simulovány defekty na jednotlivých kolech / nápravách snížením tlaku na 1 a 0,5 baru před jízdou. Získané zprůměrnované hodnoty ze tří měření pro defekt na jednom kole jsou v tab.č. 6 (hodnoty, ze kterých byly počítány průměry jsou uvedeny v příloze 1).

Tab. č. 6 - Tabulka hodnot při simulaci defektu jedné pneumatiky – kruhová zkouška

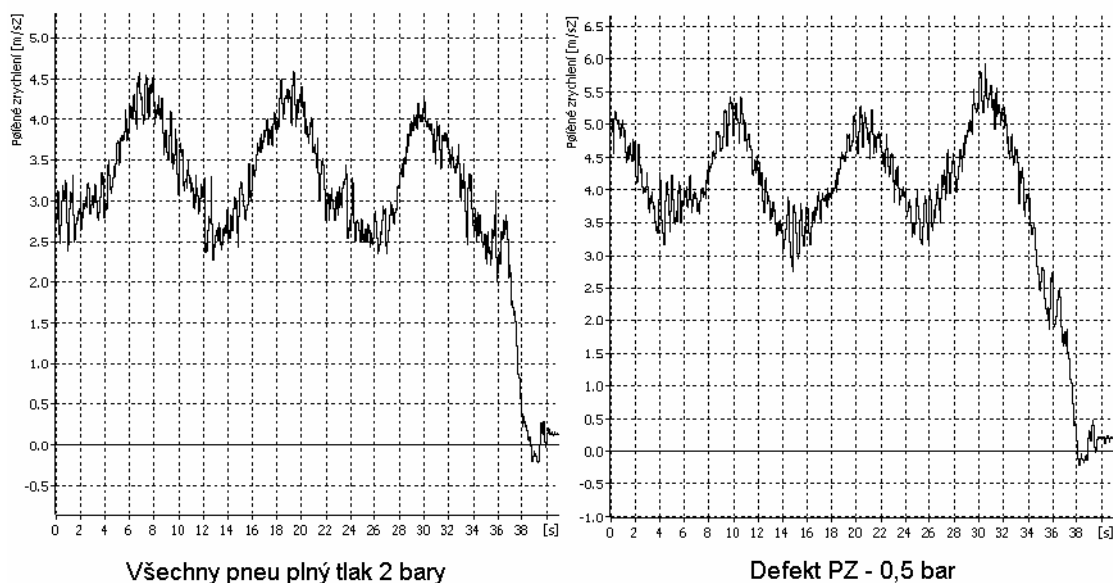
<i>Pneu:</i>	<i>Tlak [bar]:</i>	<i>Úhel natočení volantu od středové značky [°]:</i>	<i>Celkový úhel natočení volantu [°]:</i>	<i>Úhel natočení volantu vůči plně nahuštěné pneu [°]:</i>	<i>Maximální boční zrychlení [m/s²]:</i>	<i>Rozdíl zrychlení vůči nahuštěné pneu [m/s²]:</i>
LP	2,0	23	383	0	4,5	0
	1,0	20	380	-3	4,5	0
	0,5	30	390	7	4,7	0,2
PP	2,0	23	383	0	4,5	0
	1,0	37	397	13	4,5	0
	0,5	43	403	20	4,8	0,3
LZ	2,0	23	383	0	4,5	0
	1,0	23	383	0	4,5	0
	0,5	10	370	-13	5,0	0,5
PZ	2,0	23	383	0	4,5	0
	1,0	-3	357	-27	4,5	0
	0,5	-17	343	-40	5,2	0,7

Odečet úhlu natočení volantu probíhal ze záznamu z fotoaparátu. Úhel natočení je měřen od středové značky (viz. obr.č. 38). Jelikož jízda po kruhové dráze probíhala proti směru hodinových ručiček (= levotočivá zatáčka), bylo zvoleno, že natáčení volantu doleva od středové značky (zvětšování natočení kol) bude značeno *kladně* a otáčení doprava od značky (zmenšení natočení kol) *záporně*. Sloupec hodnot s názvem „celkový úhel natočení volantu“ představuje natočení volantu vůči jeho poloze při přímé jízdě. Další sloupec hodnot („úhel natočení volantu vůči plně nahuštěné pneu“) zachycuje změnu v natočení volantu v porovnání s etalonem (jízdě se všemi pneumatikami nahuštěnými na 2 bary). I zde platí stejné používání znamének + a – jako v minulém případě. Sloupec „maximální boční zrychlení“ představuje odečtená maximální hodnoty z grafu. Jde o nejvíce zastoupenou hodnotu maxima, protože hlavně v případě simulace defektu zadní pneumatiky docházelo k větší přetáčivosti vozidla, tím pádem i boční zrychlení mělo větší výkyvy i když došlo patřičné korekci volantem (zmenšení úhlu natočení volantu). Poslední sloupec („rozdíl zrychlení vůči nahuštěné pneu“) určuje přírůstek bočního zrychlení oproti jízdě s nahuštěnými pneumatikami.



Obr. č. 45 – Porovnání bočního zrychlení vozidla s plně nahuštěnými pneumatikami s defektní pravou přední pneumatikou s nižším tlakem (0,5 bar)

Z hodnot v tab.č. 6 můžeme určit, že největší vliv na směrovou stabilitu vozidla bude mít defekt pneumatiky, která se nachází vně zatáčky (v našem případě pravé pneumatiky), neboť jde o stranu vozidla, na kterou je přenášena většina tíhy a pneumatiky na této straně přenáší většinu sil (bočních i podélných) mezi vozovkou a pneumatikou. Dále je z hodnot zřejmé, že pokud nastane defekt na přední nápravě, vozidlo se stává nedotáčivým, protože se zvětší úhel směrové úchylky. Pro udržení zadané dráhy je třeba zvětšit úhel natočení kol, který vykompenzuje následek zvětšené směrové úchylky. Z obr.č. 45 je patrné, že i přes kompenzaci nedotáčivosti pomocí zvětšení úhlu natočení volantu (potažmo i kol) dojde i tak k mírnému zvětšení bočního zrychlení. Naopak při defektu (úniku tlaku) zadních kol se stává vozidlo přetáčivým a pro udržení vozidla v požadované dráze je nutné úhel natočení kol zmenšit. Změna (zvětšení) bočního zrychlení (obr.č. 46) je výraznější než v případě defektu na přední nápravě i přes provedené korekce volantem. Grafy bočních zrychlení k ostatním případům jsou v příloze 2. Kolísání průběhu bočního zrychlení na grafech je způsobeno mírným náklonem testovacího parkoviště.



Obr. č. 46 - Porovnání bočního zrychlení vozidla s plně nahuštěnými pneumatikami s defektní pravou zadní pneumatikou s nižším tlakem (0,5 bar)

Výše popsané závěry platí i pro defekty nasimulované současně na obou kolech přední nebo zadní nápravy (tab.č. 7). Rozdíl je pouze v úhlech natočení kol. Při defektu pneumatik a úniku jejich tlaku na přední nápravě dojde k větší nedotáčivosti vozidla než v případě defektu pouze jedné pneumatiky. Je to patrné na zvětšení úhlu natočení volantu, který kompenzuje nedotáčivost. Nejvýraznější změna je v případě defektu pneumatik na přední nápravě, zde je třeba při tlaku 0,5 bar zvětšit natočení o 67°, oproti tomu v případě defektu pouze PP pneumatiky stačilo volant natočit o 20° více. K podobné zvětšené korekci natočení volantem dochází i v případě defektu na zadní nápravě.

Tab. č. 7 - Tabulka hodnot při simulaci defektu na celé nápravě – kruhová zkouška

Náprava:	Tlak [bar]:	Úhel natočení volantu[°]:	Celkový úhel natočení volantu [°]:	Úhel vůči nahuštěné pneu [°]:	Rozdíl zrychlení vůči nahuštěné pneu [m/s²]:
Přední	2,0	23	383	0	0
	1,0	57	417	33	0,2
	0,5	90	450	67	0
Zadní	2,0	23	383	0	0
	1,0	34	394	11	0,4
	0,5	-27	333	-50	0,5

Kromě objektivního hodnocení vlivu defektu pneumatiky / pneumatik s částečným únikem tlaku na jízdní vlastnosti vozidla je pro komplexnost třeba doplnit i subjektivní hodnocení chování vozidla od testovacího řidiče. To je pro všechny simulované případy shrnuto v tab.č. 8.

Tab. č. 8 - Subjektivní hodnocení chování při jednotlivých defektech – kruhová zkouška

<i>Pneu:</i>	<i>Tlak:</i>	<i>Subjektivní hodnocení řidiče (autor):</i>
Všechny	2,0	Vozidlo drží zvolenou stopu, řízení jde lehce, pneumatiky se nadměrně nezahřívají.
LP	1,0	Vozidlo se chovalo stejně jako při plném nahuštění pneumatiky, drželo stopu, pneu se nadměrně nezahřívala.
	0,5	Vozidlo drží zvolenou stopu, pneu se nezahřívá výrazněji než ostatní.
PP	1,0	Vozidlo je mírně nedotáčivé, nutná korekce volantu (zvětšení úhlu natočení), PP se oproti ostatním pneumatikám více zahřívá, těžší řízení.
	0,5	Vozidlo velmi nedotáčivé, nutné velké natočení volantu, velmi těžké řízení, pneumatika se nadměrně zahřívá.
LZ	1,0	Vozidlo se chovalo stejně jako při plném nahuštění pneumatiky, drželo stopu, pneu se nadměrně nezahřívala.
	0,5	Vozidlo lehce přetáčivé, nutné mírné korekce volantem (zmenšení úhlu natočení), pneu se nehřeje více než ostatní.
PZ	1,0	Vozidlo má tendenci být přetáčivé, nutná korekce volantu (zmenšení úhlu natočení), PZ se více zahřívá oproti ostatním.
	0,5	Vozidlo nedrží stopu, velmi přetáčivé, nutné výrazné korekce volantem (markantní zmenšení úhlu natočení), pneumatika se výrazně zahřívá.
Obě P	1,0	Vozidlo je nedotáčivé, nutné větší natočení volantu, řízení těžší, pneumatiky se více zahřívají.
	0,5	Vozidlo velmi nedotáčivé, nutné velké natočení volantu pro udržení směru, těžké řízení, pneumatiky se hřejí, PP více.
Obě Z	1,0	Vozidlo celkem drží stopu, slabě přetáčivé, menší natočení volantu, řízení lehké.
	0,5	Vozidlo přetáčivé, nutné menší natočení volantu, řízení lehké.

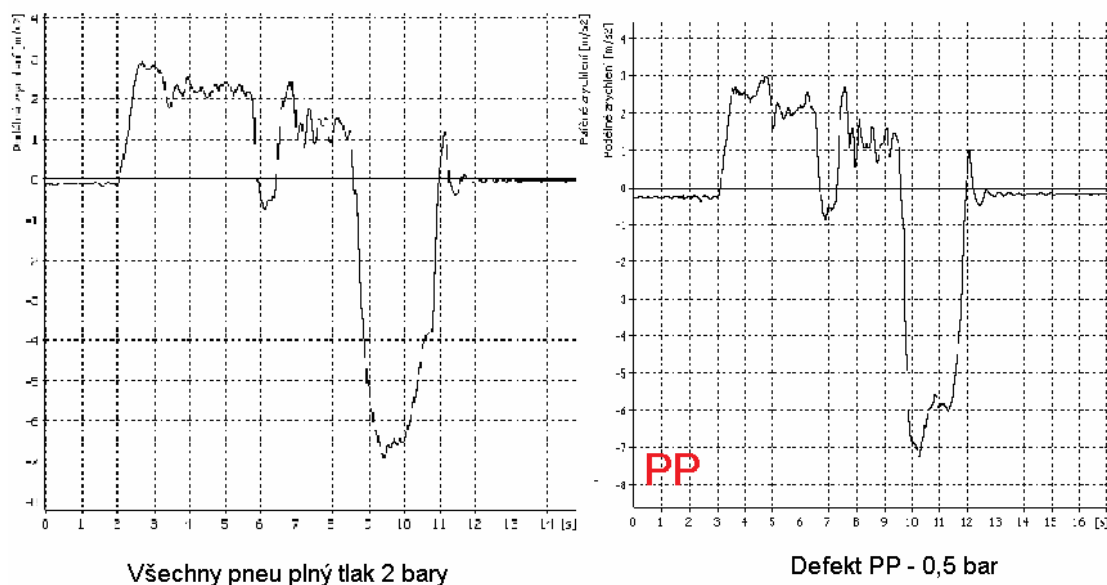
5.1.2. Brzdná zkouška

Pro provedení brzdné zkoušky byl opět využit XL metr a kamera pro snímání úhlu natočení volantu. Pomocí XL metru bylo měřeno podélné zpomalení (MFDD),

brzdná dráha a doba brzdění. Pomocí kamery byla snímána úchylka volantu při brzdění a za pomoci pozorovatele bylo pozorováno, která z pneumatik dříve ztratí adhezi (dojde dříve ke smykovému tření). Před samotným měřením bylo nutné opět zkalibrovat přístroje. XL metr byl v příčném i podélném směru nastaven na 0 m/s^2 , přičemž vozidlo opět stálo napříč ke sklonu jako v případě kruhové zkoušky.

Brzdná zkouška probíhala z rychlosti kolem 40 km/h, neboť prostor nedovoloval dosáhnout vyšší rychlosti. Adheze povrchu testovací dráhy byla zjištěna brzdou zkouškou (viz. kapitola 4.4.1) a vyšla 0,65.

Nejdříve brzdná zkouška proběhla pro vozidlo s nahuštěnými pneumatikami dle výrobce (2 bary). Následně byl simulován defekt na jednotlivých pneumatikách upuštěním na tlak 0,5 bar před jízdou. Měření pro poloviční tlak (1 bar) jako v případě kruhové zkoušky nebyly prováděny, protože tlak v pneumatikách byl stále vysoký a nebyly pozorovány žádné zachytitelné změny oproti plně nahuštěným pneumatikám. Pro defekt na každé pneumatice (daná pneumatika měla tlak 0,5 baru, ostatní 2 bary) byly všechny údaje naměřeny dvakrát a následně byl proveden jejich aritmetický průměr. Tyto průměrné hodnoty jsou uvedeny v tab.č. 9 (ostatní naměřené hodnoty jsou v příloze 3). Dále byly zaznamenávány také grafy podélného zpomalení, které si byly ovšem všechny velmi podobné. Ukázka porovnání grafů pro plně nahuštěné pneumatiky a simulovaný defekt na PP pneumatice je na obr.č. 47 (první části grafu náleží rozjezd, následný pokles až do záporných hodnot značí přeřazení a od cca 8,5 sekundy následuje brzdění- 1. graf, u druhého grafu začíná brzdění cca v 9,5 sekundě). Grafy pro ostatní případy jsou v příloze 3.



Obr. č. 47 - Graf podélného zrychlení při plně nahuštěných pneumatikách při defektu PP pneumatiky (0,5 bar)

Tab. č. 9 - Tabulka hodnot při simulaci defektu jedné pneumatiky – brzdná zkouška

<i>Pneu:</i>	<i>Brzdná dráha [m]:</i>	<i>Výchozí rychlost [km/h]:</i>	<i>Doba brzdění [s]:</i>	<i>MFDD [m/s²]:</i>	<i>Úhel úchylky volantu [°]:</i>
Všechny plné	12,45	40,77	2,15	6,24	0
LP	12,22	39,93	2,11	6,06	10 (vlevo)
PP	12,09	40,72	2,18	6,12	10 (vpravo)
LZ	12,44	41,52	2,16	6,37	0
PZ	12,15	40,29	2,21	6,21	0

Ze získaných hodnot uvedených v tab.č. 9 je zřejmé, že všechny parametry vyjma úhlu natočení volantu se nijak výrazně neliší a kolísají v řádu desetin. Tyto drobné odchylky jsou dány lidským faktorem, neboť vozidlo obsluhoval řidič, který na rozdíl od stroje není schopen provést všechna měření úplně totožně. Proto jsou rychlost a zpomalení při jednotlivých pokusech mírně odlišné a v důsledku toho jsou odlišné i hodnoty brzdných drah a časů. Z měření ovšem jasně vyplynulo, že při defektu pneumatiky na přední nápravě dochází při prudkém brzdění k mírné samovolné výchylce volantu na stranu, na které je poškozená případně velmi podhuštěná pneumatika. Tato výchylka se při ¼ předepsaného tlaku pneumatik pohybovala kolem 10°. Tuto výchylku nejspíše způsobuje dřívější blokování defektní pneumatiky, které

bylo při měření pozorováno pozorovatelem vně vozidla. Vliv defektu pneumatiky na ostatní měřené parametry nebyl prokázán a ani subjektivní hodnocení řidiče nic kromě vychýlení volantu nepotvrdilo.

5.1.3. Souhrnné vyhodnocení

Z provedených kruhových a brzdných zkoušek vyplývá, že defekt pneumatiky, který má za následek výrazný pokles tlaku negativně ovlivňuje jízdní vlastnosti vozu. Při kruhové zkoušce bylo prokázáno, že při defektu přední pneumatiky dochází při průjezdu zatáčkou k nedotáčivosti vozidla, kterou je nutné kompenzovat zvětšením úhlu natočení kol. V případě defektu a úniku tlaku na zadní nápravě, dochází při průjezdu zatáčkou k přetáčivosti, kterou je nutno kompenzovat zmenšením úhlu natočení kol. Oba typy defektů mají při větším úniku tlaku i přes provedené korekce mírný vliv na boční zrychlení (zvětšuje se v řádu desetin).

Naopak brzdnou zkouškou prováděnou na rovném úseku nebyly zjištěny žádné podstatnější negativní vlivy. Brzdná dráha, brzdné zpomalení ani čas do zastavení nebyly nijak rozdílné od vozidla s řádně nahuštěnými pneumatikami. Mírná změna byla pozorována při defektu na přední nápravě. Zde docházelo při brzdění k samovolnému mírnému (do 10° natočení volantu) natočení volantu, což bylo způsobeno dřívějším blokováním defektního kola.

Obecně má defekt pneumatiky s částečným únikem tlaku za následek výše zmíněné změny v jízdních vlastnostech, což má za následek i snížení bezpečnosti, hospodárnosti a životnosti pneumatiky. Dochází ke zvýšení valivého odporu, protože u pneumatiky s velmi nízkým tlakem se zvětšuje stopa pneumatiky a přesunují se síly na ni působící. Vlivem zvýšení valivého odporu také dochází k vyššímu tření, což má za následek zvýšené tepelné namáhání pneumatiky. Závislost změny šířky stopy na tlaku pneumatiky je na obr.č. 48 a v tabulce 10. Změna šířky stopy byla prokázána otiskem běhounu (i bočnice) pneumatiky natřené vazelínou na papír. Šířka vzniklého otisku byla následně změřena a zapsána.



Obr. č. 48 - Stopa výrazně podhuštěné pneumatiky a její otisk

Tab. č. 10 - Závislost šířky stopy pneumatiky na jejím tlaku (pro pneumatiku 175/70 R13)

<i>Tlak [bar]:</i>	<i>Šířka stopy [mm]:</i>
2	155
1	160
0,5	195
0	210

Díky nižšímu tlaku podhuštěné pneumatiky se bočnice pneumatiky mohou dostat do kontaktu s vozovkou a tím dochází k většímu vychýlení osy stopy pneu vůči podélné rovině než u správně nahuštěných pneumatik a důsledkem toho se zvyšuje úhel směrové úchylky kola a závleku, který má vliv i na velikost vratného momentu. To má za následek i narušení Ackermannovy podmínky a v zatáčkách dochází k nežádoucímu smýkání a nutí řidiče provádět korekce volantem pro udržení dané dráhy. Tyto důsledky dokazuje provedená kruhová zkouška. Ukázka odvalování velmi podhuštěné pneumatiky (0,5 bar) při jízdě zatáčkou vystihuje obr.č. 49. Je z něj zřejmé, že při průjezdu zatáčkou se dostává do kontaktu s vozovkou kromě běhounu také podstatná část bočnice pneumatiky, která není na takový styk konstruována. Díky tomu dochází k nadměrnému namáhání a opotřebení bočnice, což vede k výraznému zkrácení životnosti pneumatiky. Ukázka bočnice pneumatiky, která přicházela do styku s vozovkou je na obr.č. 50.



Obr. č. 49 - Pneumatika s tlakem 0,5 bar při jízdě zatáčkou rychlostí 30 km/h



Obr. č. 50 - Stav bočnice odvalující se po vozovce

5.2 EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ A VYHODNOCENÍ DEFektu S ÚPLNÝM ÚNIKEM TLAKU

Tato kapitola shrnuje výsledky z testů, při kterých došlo za pomoci hrotu k proražení pneumatiky a rychlému úniku tlaku. Jedná se o test na přímé dráze a vyhýbací manévr. Poslední část této kapitoly rozebírá náhlý defekt z dostupných videí a představuje, jak nejlépe se při takovémto defektu zachovat aby se co nejvíce eliminovaly vlivy s ním spojené.

5.2.1. Přímá dráha

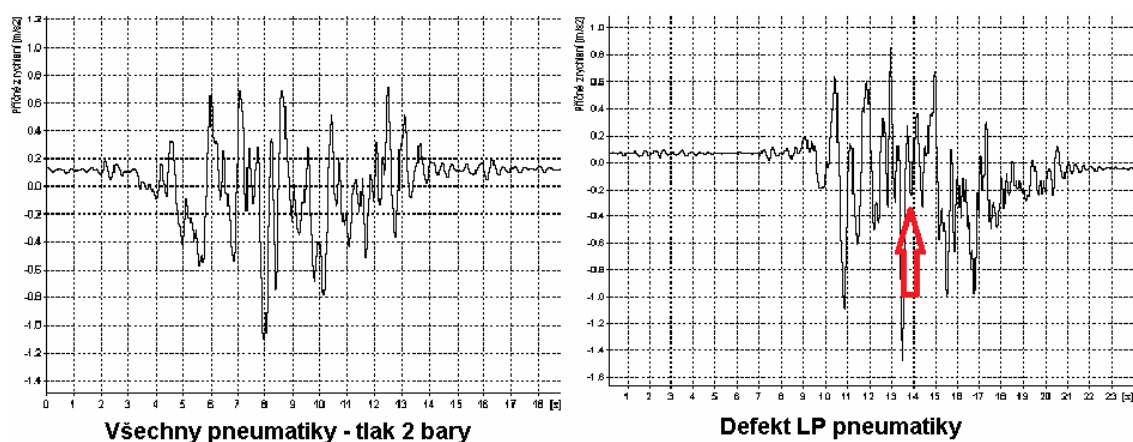
Před začátkem měření bylo nutné nastavit měřicí a snímací přístroje. Kamera ve voze zabírala stejný pohled jako měl řidič a venkovní snímala moment probodnutí pneumatiky a těsně po něm, aby bylo zřejmé jak se pneumatika chová těsně po roztržení. Dále bylo nutné zkalibrovat XL metr. Jeho kalibrace na 0m/s^2 v příčném i podélném směru byla provedena v postavení vozidla před dráhou při rozjezdu. Samotné testy probíhaly v rychlosti cca 40 km/h. Tato rychlost byla zvolena s ohledem na velikost testovacího místa, na bezpečnost a vyhodnotitelnost.

Před začátkem každé testovací jízdy byly pneumatiky nahuštěny na tlak předepsaný výrobcem (2 bary). Při samotném měření byl simulován defekt vždy pouze na jedné pneumatice (nejdříve přední, poté zadní). Snaha byla pro přední i zadní pneumatiku nasimulovat defekt dvakrát, aby se eliminoval vliv náhodných chyb a nepřesností. Z každého tohoto měření byly zaznamenány údaje o úhlu natočení volantu nutném k udržení vozidla v dráze, údaje z XL metru o bočním zrychlení, záznamy z kamer (+ hodnocení pozorovatele obsluhující kameru), čas reakce řidiče (doba změny v natočení volantu) a subjektivní hodnocení jízdních vlastností řidiče.

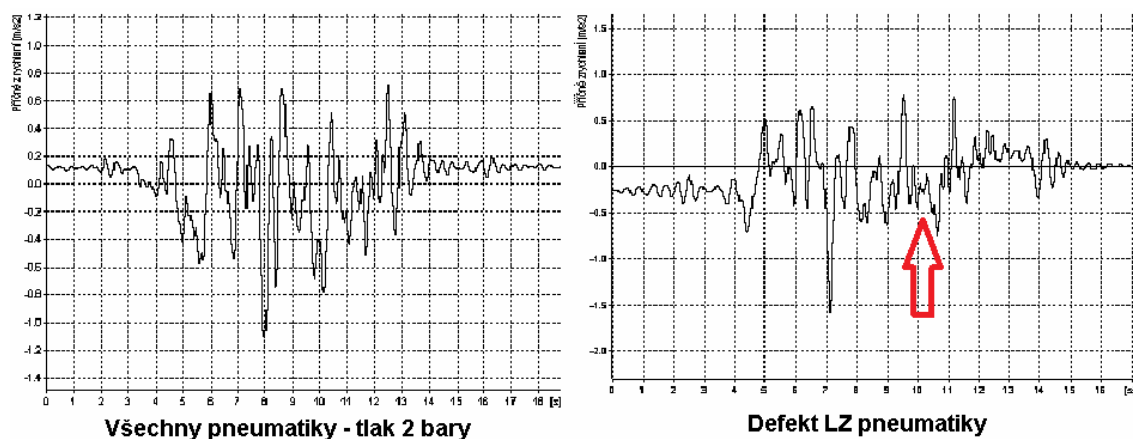
Vyhodnocením dat z XL metru bylo zjištěno, že grafy bočního zrychlení pro plně nahuštěné pneumatiky, defekt předního i zadního kola jsou velmi podobné. To je způsobeno korekcí volantem, čímž byla kompenzována směrová úchylka vozidla a tím i boční zrychlení (jízda vozidla mimo dráhu vlivem změny směrové úchylky defektní pneumatiky). Oscilace kolem nulové linie na grafech jsou způsobeny otřesy vozidla a drobnými korekcemi volantu (do 5°) při jízdě v dráze. Úseky, ve kterých došlo k najetí na hrot jsou v grafech bočního zrychlení vyznačeny.

Na obr.č. 51 a 52 jsou porovnány průběhy bočního zrychlení při defektu na předním / zadním kole vůči jízdě s koly plně nahuštěnými. Z průběhů je patrné, že oscilace kolem nulové linie jsou pokaždé mírně odlišné. V grafech je jsou vyznačeny místa vzniku defektu. Zejména na grafu náležící defektu levé přední pneumatiky (obr.č. 51) je zřejmé malé vychýlení nulové linie i přes provedenou korekci volantem. V případě žádného zásahu do řízení by boční zrychlení vzrostlo více a vozidlo by vyjelo z vytyčené dráhy.

Z vyhodnocení záznamu venkovní kamery i z výpovědi externího pozorovatele vyplynulo, že bezprostředně po proražení pneumatiky hrotem nedošlo úplnému úniku tlaku. Doba mezi probodnutím hrotem do nulového tlaku byla určena zhruba dvěma délkami vozidla (tj. $2 \times 4,2$ m), což při rychlosti 40 km/h činí méně jak 1 s. Z vyhodnocení reakce řidiče (méně než 1 s), je jasné, že k mírnému ovlivnění a směrové úchylce vozidla může dojít (viz grafy bočního zrychlení). V případě vyšší rychlosti se ovšem tato úchylky projeví více, neboť při vyšší rychlosti za stejný časový úsek ujede vozidlo delší dráhu.



Obr. č. 51 – Porovnání grafů bočního zrychlení – Plně nahuštěné pneumatiky a defekt levé přední pneumatiky



Obr. č. 52 - Porovnání grafů bočního zrychlení – Plně nahuštěné pneumatiky a defekt levé zadní pneumatiky

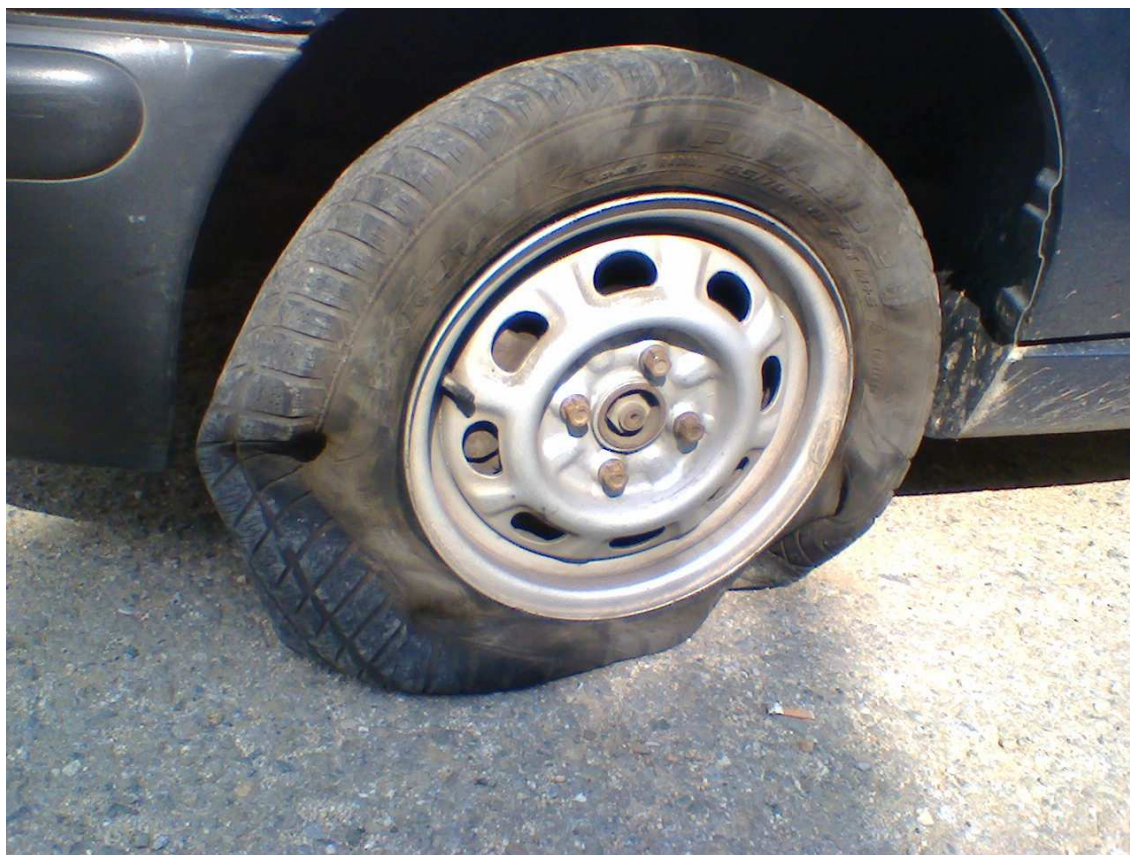
Tab. č. 11 - Změny v úhlu natočení volantu a subjektivní hodnocení

<i>Defekt pneu:</i>	<i>Úhel korekce volantem [°]:</i>	<i>Směr natočení volantu / doba reakce:</i>	<i>Subjektivní hodnocení řidiče:</i>
Všechny plné	0	-- / 1s	Vozidlo drží zvolenou dráhu, nejsou nutné korekce volantem.
LP	40	Vpravo / 1s	Vozidlo uhýbá na stranu defektu, změna byla nejdříve registrována pohledem, při pomalé jízdě těžké řízení.
LP	45	Vpravo / 1s	
LZ	5	Vlevo / 1s	Vozidlo se chová téměř neutrálně, mírné přetáčení na opačnou stranu než vznikl defekt - řidič pocítil změnu zády. Při pomalé jízdě řízení v normě.
LZ	5	Vlevo / 1s	

Z tabulky 11 je patrné, že při defektu přední pneumatiky má vozidlo tendenci měnit směr jízdy na stranu kde vznikl defekt (v našem případě vlevo). Pro udržení zadané dráhy je nutné učinit korekci volantem na druhou stranu (tzv. kontra), v našem případě vpravo. Velikost nutné korekce je cca 40° natočení volantu. Při defektu zadní pneumatiky není směrová stabilita ohrožena do takové míry jako při defektu přední pneumatiky. Vozidlo mění směr jízdy na opačnou stranu než vznikl defekt (vlevo) a je

proto nutné učinit mírnou korekci, v našem případě vlevo (korekce volantem cca 5°). Nejhorší situace nastává v případě pomalé jízdy a defektu na přední nápravě. Při pokusu natočit kola do většího úhlu dochází k velkému odporu a deformaci bočnice potažmo i celé pneumatiky. Takováto jízda velmi znehodnocuje pneumatiku a během pár otáček kola může dojít k jejímu nevratnému znehodnocení (prodření, ztráta původního tvaru). Ukázka takového případu je na obr.č. 53.

Brzdění s prázdnou pneumatikou je rizikovější v případě defektu na přední nápravě. Při brzdění se přenáší tíha vozu na přední část a pneumatiky jsou více namáhány, protože je přes ně přenášena většina podélných sil (boční se při přímé jízdě tolik neprojevují). Z testu vyplynulo (dle sdělení vnějšího pozorovatele), že pneumatika bez tlaku se začíná dříve blokovat a dochází k nesouměrnosti na počátku brzdění. V případě defektu na zadní nápravě nedochází k žádným kritickým situacím, neboť většina podélných sil mezi vozovkou a pneumatikou je přenášena předními pneumatikami, které mají správný tlak 2 bary.



Obr. č. 53 - Pomalá jízda s prázdnou pneumatikou

5.2.2. Vyhýbací manévr

Tento test můžeme rozdělit na dvě části. V první bude jako při testu na přímé dráze hodnocena změna úhlu natočení volantu nutná k eliminaci zvětšené směrové úchytky vzniklé defektem v porovnání s úhly při projetí s plně nahuštěnými pneumatikami. V druhé části bylo zachováno stejné natočení volantu jako při plně nahuštěných pneumatikách a bylo sledováno chování vozidla v dráze a hodnoceno boční zrychlení.

Nastavení měřících a záznamových přístrojů bylo stejné jako v případě přímé dráhy. Vnitřní kamera snímala pohled z místa řidiče, venkovní kamera umístěná na stativu snímala najetí na hrot (spolu s hodnocením externího pozorovatele), který byl umístěn těsně před první zatáčkou vytyčené dráhy (viz obr.č. 54). Nastavení XL metru bylo také stejné, zkalibrování na 0 m/s^2 v obou směrech na začátku rozjezdové dráhy. Rychlost pro tuto dráhu byla zvolena necelých 40 km/h s ohledem na prostor a bezpečnost.



Obr. č. 54 - Dráha s označením místa umístění hrotu

1. část testu:

Tato část testu se zaměřila na určení změny úhlu natočení volantu, které bylo nutné pro eliminaci zvětšené směrové úchyly vzniklé defektem. Defekt byl opět simulován pro pneumatiku na přední a posléze i na zadní nápravě (LP a LZ pneumatika). Hodnocena byla i změna bočního zrychlení pomocí XL metru, ovšem i v tomto případě nedošlo k žádným velkým změnám oproti plně nahuštěným pneumatikám. Řidič najížděl na hrot těsně před první zatáčkou, kterou následně projížděl již s defektem. Ze záznamů i dle sdělení pozorovatele je patrné, že při průjezdu první (pravotočivou) zatáčkou měla pneumatika ještě zbytkový tlak, neboť vzduch unikl necelou 1 s. To odpovídá tomu, že pneumatika ztratila tlak úplně až při průjezdu druhou zatáčkou (levotočivá). Defekt byl i v tomto případě simulován na levé straně pro snazší provedení.

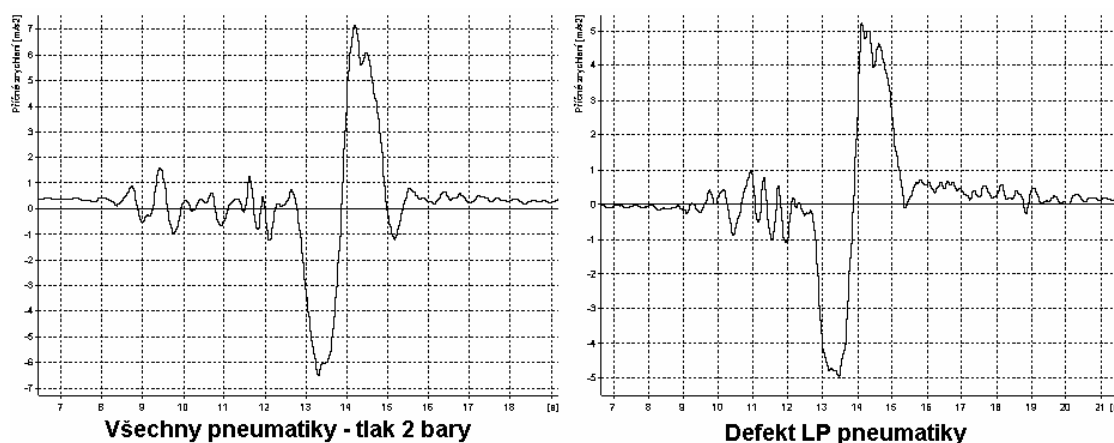
V tabulce 12 jsou shrnuty vyhodnocené úhly natočení volantu. Úhel před lomítkem označuje natočení při průjezdu první zatáčkou (pravotočivou) a za lomítkem průjezd druhou zatáčkou (levotočivou). Úhly natočení volantu naměřené pro plně nahuštěné pneumatiky bereme opět jako referenční a vztahujeme k nim hodnoty natočení volantu náležící přednímu a zadnímu defektu.

Tab. č. 12 - Změny v úhlu natočení volantu a subjektivní hodnocení

<i>Defekt pneu:</i>	<i>Úhel natočení volantu [°] (vpravo / vlevo):</i>	<i>Změna úhlu natočení volantu [°]:</i>	<i>Subjektivní hodnocení:</i>
Všechny plné	180 / 180	--	Vozidlo drží zvolenou dráhu, řízení lehké a přesné.
LP	200 / 180	+ 20 / 0	Vozidlo se stává nedotáčivým, řízení těžké, nutné korekce – zvětšení úhlu natočení volantu
LP	230 / 180	+ 50 / 0	
LZ	170 / 180	- 10 / 0	Vozidlo mírně přetáčivé, řízení lehké, drobné korekce volantem

Z tabulky 12 je zřejmé, že v případě defektu přední pneumatiky dochází při nájezdu do první zatáčky ke zvětšení úhlu natočení volantu. Příčinou tohoto většího natočení je opět jako u kruhové zkoušky zvětšení směrové úchyly pneumatiky.

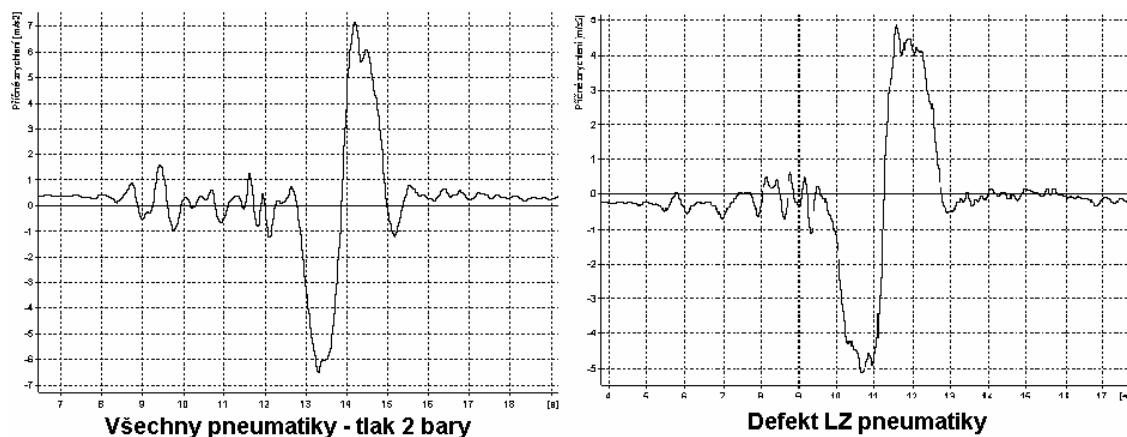
přičemž u druhé zatáčky tomu tak není a úhel zůstává stejný jako při jízdě s plně nahuštěnými pneumatikami. Je to způsobeno přenosem tíhy na levou (defektní) pneumatiku při průjezdu první zatáčkou a také již sníženým tlakem v důsledku roztržení běhounu. Na obr.č. 55 jsou znázorněny průběhy bočního zrychlení pro průjezd s plně nahuštěnými pneumatikami a s defektem levé přední pneumatiky. Z grafu je patrné, že boční zrychlení v případě plně nahuštěných pneumatik je vyšší při průjezdu oběma zatáčkami. Naproti tomu při defektu levé přední pneumatiky je průběh bočního zrychlení stejný, ale dosahuje nižších hodnot. To je způsobeno větším smýkáním defektní pneumatiky, což má za následek mírný pokles rychlosti a nižší směrovou tuhost pneumatiky. Díky nižšímu tlaku je také zvyšován vratný moment (z důvodu většího závleku), který způsobil těžší řízení, které řidič při testu pozoroval.



Obr. č. 55 - Srovnání bočního zrychlení při defektu LP pneumatiky

V druhém případě byl simulován defekt zadní pneumatiky. Z tabulky 12 je patrné, že při průjezdu první (pravotočivou) zatáčkou bylo nutné zmenšit úhel natočení volantu o 10° , protože při průjezdu touto zatáčkou bylo na defektní pneumatiku zvětšené svislé zatížení (náklon vozidla) a projevila se mírná přetáčivost, která musela být kompenzována. Druhá (levotočivá) zatáčka byla opět projeta bez potřeby korekce, protože bylo zvětšené svislé zatížení pravé strany vozidla, kde měly pneumatiky předepsaný tlak 2 bary. Co se týče bočního zrychlení, tak to dosahovalo jako v případě defektu na předním kole nižších hodnot než při jízdě se všemi koly nahuštěnými dle výrobce (obr.č. 56). Je to opět způsobeno větším smýkáním a mírnou ztrátou rychlosti.

Důsledkem přetáčivosti ale maximum bočního zrychlení trvá déle než při defektu na předním kole nebo v případě pneumatik s plným tlakem.



Obr. č. 56 - - Srovnání bočního zrychlení při defektu LZ pneumatiky

2. část testu:

V druhé části testování na vyhybacím manévru byla zvolena strategie, kdy úhel natočení volantu zůstane stejný jako v případě plně nahuštěných pneumatik a bude hodnocena změna bočního zrychlení a snaha vozidla udržet se ve vytyčené dráze. Tento test byl velmi náročný pro řidiče, který se musel soustředit na udržení rychlosti, správného najetí na hrot a nakonec i stejného natočení volantu. Díky tomu bylo mnoho znehodnocených pneumatik, ale 2 pokusy byly úspěšné. Při nich vznikl defekt na přední pneumatice a dráha byla projeta s tímto defektem.

Zde již byly údaje o bočním zrychlení získané XL metrem více odlišné od jízdy s plně nahuštěnými pneumatikami i od defektů simulovaných v první části textu (defekty kompenzovány natočením volantu). Levá přední pneumatika vozidla po nájezdu na hrot (obr.č.57) ztratila cca do 1 sekundy tlak. První (pravotočivou) zatáčku projíždělo vozidlo se sníženým tlakem v pneumatice, na kterou působilo zvýšené svislé zatížení v důsledku náklonu vozidla (obr.č.58). Vzhledem k zachování stejného natočení volantu (tedy i kol) jako při průjezdu se všemi nahuštěnými pneumatikami na 2 bary bylo vozidlo nedotáčivé. Důsledkem zvětšené směrové úchyly, která nebyla kompenzována větším natočením volantu vozidlo neprojíždělo dráhu ideální stopou, ale

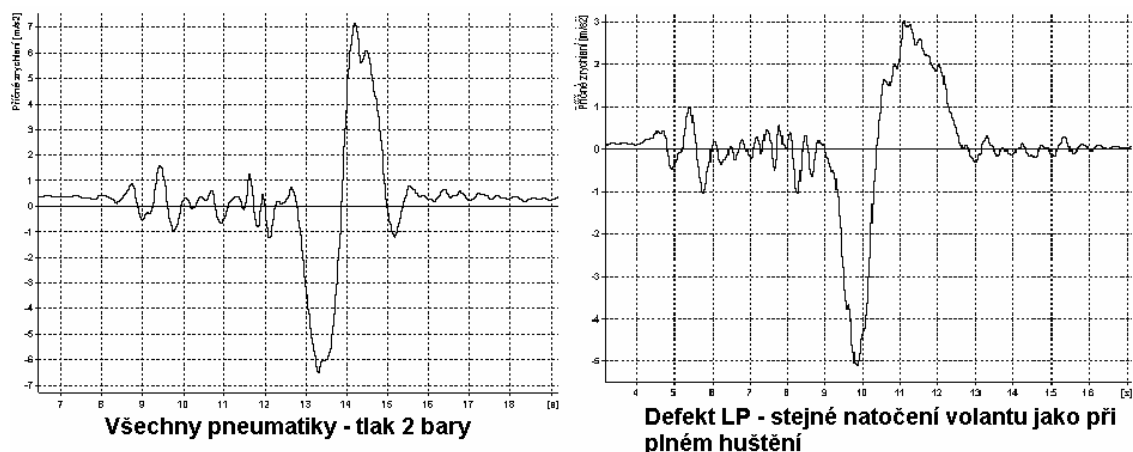
dostalo se více k okraji. Díky větším smykovým silám mezi defektní pneumatikou a vozovkou došlo k mírnému zpomalení, díky čemuž bylo boční zpomalení při nájezdu do druhé (levotočivé) zatáčky menší. Porovnání grafu bočního zrychlení pro plně nahuštěné pneumatiky a pro vozidlo s defektem na levém předním kole je na obr.č. 59.



Obr. č. 57 - Vozidlo při nájezdu na hrot



Obr. č. 58 - Vozidlo při průjezdu první pravotočivou zatáčkou po roztržení pneumatiky



Obr. č. 59 - Porovnání bočních zrychlení při stejném natočení volantu a průjezdu bez a s defektem LP pneumatiky

Při tomto testu, kdy nebyla kompenzována zvětšená směrová úchylka (vzniklá únikem tlaku pneumatiky) větším natočením volantu, působily na pneumatiku velké boční síly, které kromě kontaktu bočnice pneumatiky s vozovkou způsobily i částečné vyzutí pneumatiky z disku. Jedna patka pláště odlehla od hrany disku (obr.č. 60). Další jízda s takto uvolněnou pneumatikou je velmi nebezpečná, protože nedokáže zajistit bezpečný přenos jak bočních tak i podélných sil mezi pneumatikou a vozovkou.



Obr. č. 60 - Odlehlá patka pneumatiky od disku

5.2.3. Hodnocení defektu z dostupných videí

Jelikož hodnocení náhlého defektu probíhalo pouze při nízké rychlosti (40 km/h), bylo nutné pro správné vyhodnocení zahrnout i testy ve vyšších rychlostech. Vliv defektu na jízdní vlastnosti ve vyšších rychlostech je proto hodnocen z dostupných videí, které pochází z reálného provozu i z vědeckých pokusů (zde byl defekt vytvořen pomocí pyrotechnické nálože).

Při defektu s úplnou ztrátou tlaku v pneumatice dochází v mnoha případech při jízdě vyšší rychlostí k posunu pláště na disku a patní lana pneumatiku již nedrží pneumatiku na krajích ráfku. Dochází k výrazné deformaci bočnice pneumatiky a tím i změně směrové úchyly. Tato situace je velmi nebezpečná, vůz je hůře řiditelný a životnost pneumatiky se touto jízdou velmi zkracuje. Porovnání jízdy s pneumatikou plně nahuštěnou a úplně bez tlaku je na obr.č. 55.



Před defektem

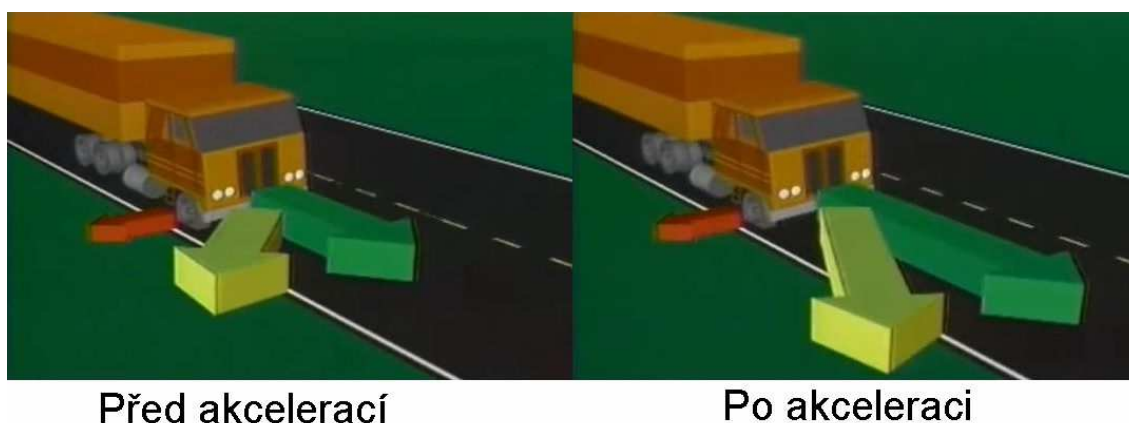
Po defektu

Obr. č. 61 - Porovnání pneumatiky s plným tlakem a s nulovým [31]

Při defektu s náhlým únikem tlaku je cca 1 sekundová prodleva mezi únikem tlaku a stavem, kdy řidič začne situaci pozorovat na jízdních vlastnostech vozidla (viz video [33]). V případě vyšších rychlostí vozidlo za 1 sekundu ujede delší dráhu než při menší rychlosti, proto se i směrová úchylnost vozidla projeví rychleji a řidič má méně času na reakci. Stane-li se defekt na pneumatice přední nápravy, bude mít vozidlo tendenci uhýbat na stranu, na které se nachází defektní pneumatika. Řidič situaci pozná

nejdříve na reakci volantu. Pokud dojde k defektu na zadní pneumatice, vozidlo se stává nestabilním a přetáčivým. Změnu v chování vozidla pozoruje řidič nejdříve na zadní části těla, kterou má opřenu v sedačce. Ukázka defektu pravé zadní pneumatiky při rychlosti cca 240 km/h je na videu [34]. Z něj je patrné, že defekt pneumatiky ve vysokých rychlostech způsobuje téměř okamžitou směrovou nestabilitu vozu.

Z videí je patrné, že při defektu ve vyšších rychlostech je riziko nehody vysoké. Proto Michelin i jiné organizace v Americe se snažily nalézt řešení, jak nejlépe zvládnout řízení při náhlém defektu a vyvarovat se nehodě. Studie říkají, že v případě defektu má řidič nejdříve prudce akcelarovat, aby se eliminovala síla (viz. obr.č. 57), která táhne vozidlo z vozovky a přitom učinit nutné korekce volantem. Po tomto prvotním zvládnutí situace by měl řidič pomalu ubírat plyn a zpomalovat až do úplného zastavení vozidla na bezpečném místě. Tento návod je platný pro všechny typy vozidel v případě defektu jak na zadní tak i na přední nápravě.



Obr. č. 62 - Eliminace důsledků defektu [31]

5.2.4. Souhrnné vyhodnocení

Z provedených zkoušek (na přímé dráze i vyhýbací manévr) a z vyhodnocení videí vyplývá, že defekt pneumatiky s náhlým únikem tlaku je zrádný z pohledu nástupu negativních vlivů spojených se snížením nebo úplným únikem tlaku v pneumatice. Z vyhodnocení vyplynulo, že k nástupu negativních vlivů dochází téměř okamžitě po 1 sekundě od najetí na hrot.

Důsledky jsou totožné jako při vyhodnocení testů pro defekt s částečným únikem tlaku. Zvětšuje se směrová úchylka pneumatiky a závlek, který má vliv i na velikost vratného momentu. Zvětšení směrové úchylky musí řidič kompenzovat zvětšením natočení volantu, což může být hlavní problém při vyšších rychlostech, kdy řidič nemusí včas tuto kompenzaci provést a tím pádem se vozidlo odchýlí z dané dráhy.

Nastane-li defekt při přímé jízdě a na zadním kole, pak jde o nejméně nebezpečnou variantu, která stabilitu vozidla neovlivní tolik, jako defekt vzniklý v zatáčce na přední nápravě. Z vyhodnocení vyhýbacího manévru vyplývá, že boční síly působící na vnější kolo jsou natolik velké, že v případě defektu může dojít až k odlehnutí patky pneumatiky od disku a jejímu posunu. Tato pneumatika již nemá schopnost přenosu jak bočních tak i podélných sil na vozovku. Proto je z pohledu bezpečnosti a ovladatelnosti vozidla jízda s takovou pneumatikou vyloučena.

Eliminací dopadu defektu na jízdní vlastnosti vozidla se zabývali různé instituce v Americe a určili metodiku, jak negativním vlivům co nejvíce zamezit a bezpečně zastavit vozidlo. Hlavními pravidly je při vzniku plně akcelarovat a volantem korigovat nestabilitu. Po tomto prvotním zákroku je možno pozvolna snižovat rychlost a bezpečně zastavit.

6. ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo zjistit jak ovlivňuje defekt pneumatiky jízdní dynamiku vozidla. Pro správné pochopení problematiky byly v úvodních kapitolách shrnuty teoretické základy jízdní dynamiky vozidel a konstrukce pneumatik pro osobní vozy.

Následně mohla být připravena experimentální měření, pro ověření a doplnění teoretických předpokladů. V první části experimentů byl ověřován dopad defektu s částečným únikem tlaku na jízdní vlastnosti. Pro toto ověření byly vybrány dvě běžně používané zkoušky: kruhová a brzdná. Pro testy byly použity letní pneumatiky Matador a Michelin, které byly obuty na testovacím vozidle Škoda Felicia Combi. Kruhovou zkouškou, která simuluje jízdu zatáčkou, byl zjišťován úhel natočení volantu a příčné zrychlení při simulaci defektů (1 bar a 0,5 bar) na jednotlivých kolech a následně i nápravách. Testovacími jízdami bylo zjištěno, že se snižujícím se tlakem v pneumatice (pneumatikách), roste úhel natočení volantu, tedy i směrová úchylna pneumatik, příčné zrychlení a teplotní namáhání pneumatiky. Největší dopad na jízdní vlastnosti má defekt pneumatiky vně zatáčky, neboť na tuto stranu je přenášena většina hmotnosti vozidla. Testy bylo také zjištěno, že defekt na přední nápravě způsobuje nedotáčivost vozidla a jeho řízení je těžší, naopak při defektu na zadní nápravě má vozidlo tendenci být přetáčivé.

Brzdnou zkouškou byl opět testován vliv defektu na jednotlivých pneumatikách na jízdní stabilitu, brzdnou dráhu, čas brzdění a zpomalení. Při této zkoušce nebyly zaznamenány žádné významné odlišnosti u vozidla s defektem a bez něj u parametrů zpomalení, brzdná dráha a čas. Jediná zjištěná odchylka v jízdní dynamice byla zjištěna při defektu (0,5 bar) na přední nápravě. Zde docházelo k mírným 10° odchylkám v úhlu natočení volantu při brzdění. Ovšem při porovnání s dopady defektu při jízdě zatáčkou, jsou důsledky defektu při brzdění minimální.

V druhé části experimentů proběhlo hodnocení defektů, které mají za následek okamžitý únik tlaku. V tomto případě byla zvolena jízda po přímé dráze a vyhybový manévr. Opět byly zaznamenávány hodnoty úhlu natočení volantu, příčného zrychlení, subjektivního hodnocení chování vozidla a rychlosti vzniku negativních vlivů po proražení pláště. V případě přímé jízdy bylo zjištěno, že defekt na přední nápravě

ovlivní jízdní stabilitu mnohem více než defekt zadní nápravy. V obou případech musí řidič provést korekce volantem aby projel vytyčenou dráhu.

U vyhýbacího manévru je ale situace horší. Defekt byl vytvářen těsně před najetím do první zatáčky, takže dráha byla projížděna s proraženou pneumatikou. Zde by bez korekce volantu došlo k vyjetí z dráhy. Nejhorší situace nastává v případě, kdy je proražená pneumatika přetížená, zde se projeví zvětšená směrová úchylka nejvíce. V krajním případě může dojít i k posunu pneumatiky na disku. Opět zde platí, že horší dopad má defekt přední pneumatiky.

Velkou roli při náhlém defektu hraje i rychlost vozidla. Při vyšších rychlostech je za stejný časový úsek ujeta delší dráha, tím pádem se vliv směrové úchylky projeví více. Proto se vědci v Americe zabývali různými studiemi jak nežádoucí vlivy spojené s defektem eliminovat. Po různých testech dospěly k názoru, že největšího snížení důsledku defektu se dosáhne prudkou akcelerací a korekcí volantu. Po tomto prvotním stabilizování vozidla může řidič pozvolna zpomalovat a na bezpečném místě vozidlo odstavit.

7. LITERATURA

- [1] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 392 s. ISBN 80-239-0026-9.
- [2] Dezén pneumatiky. *Http://www.autocentrumrk.cz* [online]. [cit. 2013-08-10]. Dostupné z: <http://www.autocentrumrk.cz/dezen-pneumatik-info/>
- [3] Konstrukce, funkce a výroba pneumatiky. *Http://www.pneu-asistent.cz* [online]. 6.8.2013 [cit. 2013-08-10]. Dostupné z: <http://www.pneu-asistent.cz/Konstrukce-funkce-a-vyroba-pneumatiky.html>
- [4] SAJDL, Jan. Konstrukce pneumatiky. *Cs.autolexicon.net* [online]. [cit. 2013-08-10]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/konstrukce-pneumatiky/>
- [5] SAJDL, Jan. Pneumatiky Runflat. *Cs.autolexicon.net* [online]. [cit. 2013-08-10]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/pneumatiky-runflat/>
- [6] Pneumatiky-konstrukce. *Http://www.autoznanosti.cz* [online]. 10.11.2008. [cit. 2013-08-10]. Dostupné z: <http://www.autoznanosti.cz/index.php/podvozek-a-kola/12-pneumatiky-konstrukce.html>
- [7] Výroba pneumatik. *Dopravní noviny* [online]. 15.9.2005. [cit. 2013-08-10]. Dostupné z: <http://www.dnoviny.cz/silnicni-doprava/vyroba-pneumatik2335>
- [8] Náhradní dojezdová pneumatika. *Continental* [online]. [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: http://www.conti-online.cz/www/pneumatiky_cz_cz/temata/rozsirena_mobilita/spare-tires.html
- [9] Kontrolujte i náhradní kolo. *Rezulteo* [online]. 14.8.2012. [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: <http://www.rezulteo-pneumatiky.cz/pruvodce-pneumatik/udrzbapneumatik/kontrolujte-i-nahradni-kolo-4123>
- [10] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003, 432 s. ISBN 80-239-0024-2.
- [11] TOUFAR, P. *Vliv parametrů a vlastností pneumatik na jízdní dynamiku vozidel*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2011. 72 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vladimír Panáček.
- [12] BRADÁČ, A.: *Soudní inženýrství*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 1999. ISBN 80-7204-057-X

- [13] *PC Crash: Používateľská príručka*. Linz, 2013, 255 s. [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: http://www.pccrash.cz/?page_id=34
- [14] *Virtual Crash: Užívateľská príručka 2.x.*, 171 s. [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://www.vcrash.com/download/manual/slovak1.pdf>
- [15] RILL, Georg. TMEASY – A Handling Tire Model Based On A Three-Dimensional Slip Approach. [online]. s. 10 [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: https://hps.hs-regensburg.de/~rig39165/paper/Rill_IAVSD2013.pdf
- [16] Racelogic Blog: Racelogic staff dedication displayed in ‘Moose Avoidance’ manoeuvre to demonstrate new Lane Change Software. [online]. 2.6.2010 [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://blog.racelogic.co.uk/2010/06/02/racelogic-staff-dedication-displayed-in-%E2%80%98moose-avoidance%E2%80%99-manoeuvre-to-demonstrate-new-lane-change-software/>
- [17] BILÍK, M. *Možnosti zjišťování vlivu elektronických stabilizačních systémů podvozku na jízdní dynamiku vozidla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, 2011. 103 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Vladimír Panáček.
- [18] Škoda Felicia: Technické údaje. [online]. 21.12.2010 [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: http://skodaps.wz.cz/felicia_technicke_1.php
- [19] Automobily Škoda: Technická data Škoda Felicia Combi. [online]. 30.8.2010 [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://www.vozyskoda.wz.cz/feliciacombi/techdata.htm>
- [20] SAJDL, Jan. Autolexicon.net: Ackermannova podmínka. [online]. [cit. 2014-03-12]. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/ackermannova-podminka/>
- [21] PAUER, Václav. *Vývoj konstrukce závodních vozů: vše podstatné z historie techniky formulových vozů*. Praha: Grada, 2011, 355 s. ISBN 978-80-247-3015-8.
- [22] TPMS na dohled, pneuservisy nezaspěte!. *Pneurevue* [online]. 27.1.2014 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.pneurevue.cz/aktuality/obchod/tpms-na-dohled-pneuservisy-nezaspete.html>
- [23] Chytré ventilký. K čemu jsou?. *Chytré ventilký* [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://chytreventilky.cz/content/8-chytre-ventilky>

- [24] Monitorování tlaku v pneumatikách. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Monitorov%C3%A1n%C3%AD_tlaku_v_pneumatik%C3%A1ch
- [25] Pozdravy z Bruselu: monitorování tlaku v pneu od 1. listopadu povinně pro všechny. *Autoforum* [online]. 29.10.2012 [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/zivot-ridice/pozdravy-z-bruselu-monitorovani-tlaku-v-pneu-od-1-listopadu-povinne-pro-vsechny/>
- [26] Monitorování tlaku v pneumatikách - TPMS. *C.A. system* [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <http://www.casystem.cz/produkty/monitorovani-tlaku-pneumatiky.html>
- [27] Googlemaps. [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps>
- [28] Archiv: Průběh počasí v Brně. *Meteocentrum* [online]. [cit. 2014-05-15]. Dostupné z: <http://www.meteocentrum.cz/archiv/pocasi-brno.php?date=2014-05-10>
- [29] XL Meter Pro. *Inventure: Automotive Eletronics* [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.inventure.hu/upload/downloads/XLMGLFEN21.pdf>
- [30] Nikon Coolpix L20. *Fotorádce* [online]. [cit. 2014-05-05]. Dostupné z: <http://www.fotoradce.cz/fotoaparaty/nikon-coolpix-l20-cislo1635>
- [31] CORGAN, Mark. *How to Handle a Tire Blowout in Your RV*. In: *Youtube* [online]. Zveřejněno 05. 01. 2008 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.youtube.com/watch?v=lkwOE1yKY5c>
- [32] FASTERTRUCKS. *Big-Rig Truck Driver Training - Blowouts*. In: *Youtube* [online]. Zveřejněno 06. 12. 20089 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.youtube.com/watch?v=iIkNi9lqTLU>
- [33] UAE6066. *Tyre Blowout*. In: *Youtube* [online]. Zveřejněno 05. 07. 2009 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.youtube.com/watch?v=bkMYiV0xD00>
- [34] SPEEDCONTROL. *Daytona High Speed Cash – Porsche GT3*. In: *Youtube* [online]. Zveřejněno 27. 11. 2012 [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: <http://www.youtube.com/watch?v=XE95cr9dma8>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1 - Valivý odpor kola [10]	12
Obr. č. 2 - Vliv huštění pneumatiky na odpor valení [10]	13
Obr. č. 3 - Silové poměry na kole při směrové úchylce [10]	14
Obr. č. 4 - Odpor stoupání [10]	15
Obr. č. 5 - Hnací síla a výkon potřebný k překonání odporů [10]	16
Obr. č. 6 - Ideální charakteristika motoru - výkon a ideální hyperbola hnací síly [10].	17
Obr. č. 7 - Skluzová charakteristika pneumatiky [10]	18
Obr. č. 8 - Působení boční síly na stojící a valící se kolo [10]	19
Obr. č. 9 - Vratný moment pneumatiky [10]	20
Obr. č. 10 - Ackermannova podmínka [20]	22
Obr. č. 11 - Závislost součinitele adheze na skluzu [21]	23
Obr. č. 12 - Vliv naklápění kola (vlevo) a závislost boční síly na úhlu naklopení (vpravo) [10]	24
Obr. č. 13 - Průběh brzdění [10]	26
Obr. č. 14 - Síly působící na brzdící vozidlo [10]	27
Obr. č. 15 - Kammova kružnice přilnavosti [10]	28
Obr. č. 16 - Stabilita a nestabilita brzděného vozidla [10]	29
Obr. č. 17 - Řez pneumatikou [4]: 1 – korunní kordová vrstva, 2 – běhoun, 3 – radiální kordová vrstva, 4 – bočnice, 5 – vnitřní gumová vrstva, 6 – patka, 7 – patní lano	33
Obr. č. 18 - Dezén pneumatiky [3]: 1 – vnější zóna, 2 – vnitřní část dezénu, 3 – obvodové drážky, 4 – příčné drážky, 5 – bloky, 6 - lamelování	34
Obr. č. 19 - Diagonální pneumatika [1]	36
Obr. č. 20 - Radiální pneumatika [1]	37
Obr. č. 21 - Srovnání runflat a běžné pneumatiky [5]	38
Obr. č. 22 – Dojezdové kolo [8]	39
Obr. č. 23 - Značení pneumatik [3]	40
Obr. č. 24 - Označení hlavních rozměrů pneumatiky [1]	42
Obr. č. 25 - Závislost tlaku pneumatiky na její životnosti [1]	46
Obr. č. 26 - Ukázka podhuštěné a přehuštěné pneumatiky [1]	46
Obr. č. 27 - Kolový ventil se senzorem [25]	47
Obr. č. 28 - Kontrolka TPMS na přístrojové desce [24]	47
Obr. č. 29 - Indikace tlaku pomocí chytrého ventilku [23]	48

Obr. č. 30 - Přídavný přímý systém TPMS [26]	48
Obr. č. 31 - Nastavovací okno pro model TMEASY.....	50
Obr. č. 32 - Rozměry zkušební dráhy	52
Obr. č. 33 - Hrot.....	54
Obr. č. 34 - Roztržená pneumatika od hrotu.....	54
Obr. č. 35 - Vyhýbací manévr.....	55
Obr. č. 36 - Rozměry vozu Škoda Felicia Combi [19]	56
Obr. č. 37 - Vozidlo použité pro měření	58
Obr. č. 38 - Měření úhlu natočení volantu	59
Obr. č. 39 - Testovací plocha (červeně vyznačena) – parkoviště u ulice Teslova [27] .	60
Obr. č. 40 - Detail povrchu plochy	61
Obr. č. 41 - Testovací plocha (červeně vyznačena) - parkoviště u zámku v Kupařovicích [27]	62
Obr. č. 42 - Umístění měřících přístrojů ve vozidle	63
Obr. č. 43 - XL metr [29].....	64
Obr. č. 44 - Tlakoměr.....	66
Obr. č. 45 – Porovnání bočního zrychlení vozidla s plně nahuštěnými pneumatikami s defektní pravou přední pneumatikou s nižším tlakem (0,5 bar).....	69
Obr. č. 46 - Porovnání bočního zrychlení vozidla s plně nahuštěnými pneumatikami s defektní pravou zadní pneumatikou s nižším tlakem (0,5 bar).....	70
Obr. č. 47 - Graf podélného zrychlení při plně nahuštěných pneumatikách při defektu PP pneumatiky (0,5 bar)	73
Obr. č. 48 - Stopa výrazně podhuštěné pneumatiky a její otisk.....	75
Obr. č. 49 - Pneumatika s tlakem 0,5 bar při jízdě zatáčkou rychlostí 30 km/h	76
Obr. č. 50 - Stav bočnice odvalující se po vozovce	76
Obr. č. 51 – Porovnání grafů bočního zrychlení – Plně nahuštěné pneumatiky a defekt levé přední pneumatiky.....	78
Obr. č. 52 - Porovnání grafů bočního zrychlení – Plně nahuštěné pneumatiky a defekt levé zadní pneumatiky	79
Obr. č. 53 - Pomalá jízda s prázdnou pneumatikou	80
Obr. č. 54 - Dráha s označením místa umístění hrotu.....	81
Obr. č. 55 - Srovnání bočního zrychlení při defektu LP pneumatiky	83
Obr. č. 56 - - Srovnání bočního zrychlení při defektu LZ pneumatiky	84
Obr. č. 57 - Vozidlo při nájezdu na hrot	85

Obr. č. 58 - Vozidlo při průjezdu první pravotočivou zatáčkou po roztržení pneumatiky	85
Obr. č. 59 - Porovnání bočních zrychlení při stejném natočení volantů a průjezdu bez a s defektem LP pneumatiky	86
Obr. č. 60 - Odlehlá patka pneumatiky od disku	86
Obr. č. 61 - Porovnání pneumatiky s plným tlakem a s nulovým [31].....	87
Obr. č. 62 - Eliminace důsledků defektu [31].....	88

Tabulka úhlů natočení volantu pro LP pneumatiku:

<i>Tlak [bar]:</i>	<i>Měření:</i>	<i>Úhel natočení [°]:</i>	<i>Celkový úhel natočení [°]:</i>	<i>Úhel vůči nahuštěné [°]:</i>
2,0	1	30	390	
	2	20	380	
	3	20	380	
	Průměr:	23	383	0
1,0	1	20	380	
	2	20	380	
	3	20	380	
	Průměr:	20	380	-3
0,5	1	30	390	
	2	30	390	
	3	30	390	
	Průměr:	30	390	7

Tabulka úhlů natočení volantu pro PP pneumatiku:

<i>Tlak [bar]:</i>	<i>Měření:</i>	<i>Úhel natočení [°]:</i>	<i>Celkový úhel natočení [°]:</i>	<i>Úhel vůči nahuštěné [°]:</i>
2,0	1	30	390	
	2	20	380	
	3	20	380	
	Průměr:	23	383	0
1,0	1	40	400	
	2	30	390	
	3	40	400	
	Průměr:	37	397	13
0,5	1	40	400	
	2	50	410	
	3	40	400	
	Průměr:	43	403	20

Tabulka úhlů natočení volantu pro LZ pneumatiku:

<i>Tlak [bar]:</i>	<i>Měření:</i>	<i>Úhel natočení [°]:</i>	<i>Celkový úhel natočení [°]:</i>	<i>Úhel vůči nahuštěné [°]:</i>
2,0	1	30	390	
	2	20	380	
	3	20	380	
	Průměr:	23	383	0
1,0	1	30	390	
	2	20	380	
	3	20	380	
	Průměr:	23	383	0
0,5	1	10	370	
	2	10	370	
	3	10	370	
	Průměr:	10	370	-13

Tabulka úhlů natočení volantu pro PZ pneumatiku:

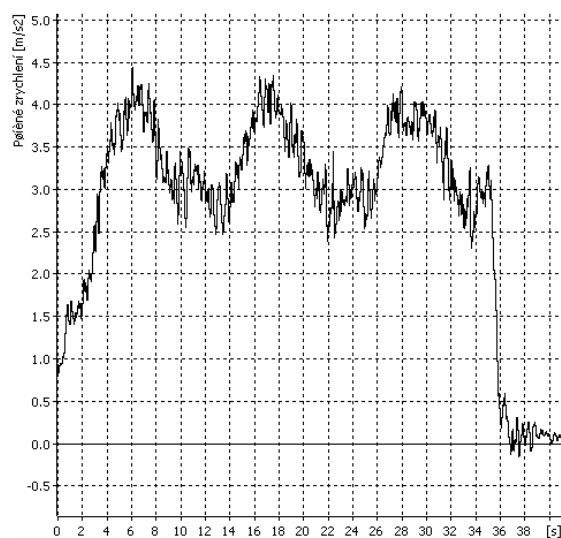
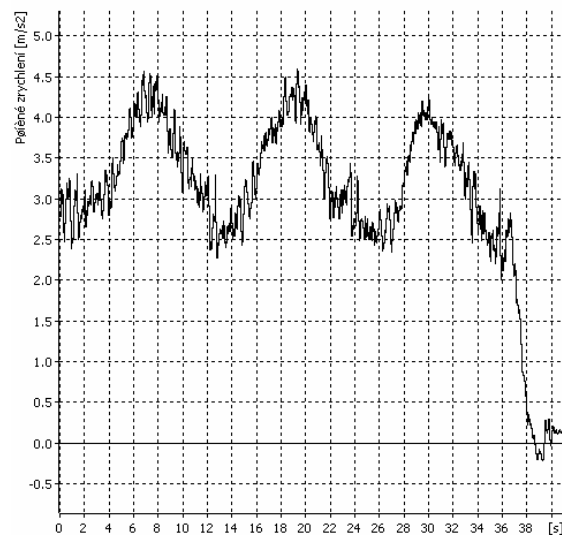
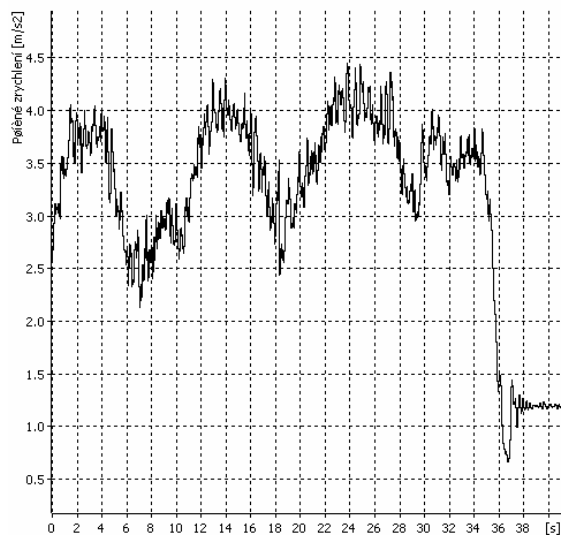
<i>Tlak [bar]:</i>	<i>Měření:</i>	<i>Úhel natočení [°]:</i>	<i>Celkový úhel natočení [°]:</i>	<i>Úhel vůči nahuštěné [°]:</i>
2,0	1	30	390	
	2	20	380	
	3	20	380	
	Průměr:	23	383	0
1,0	1	0	360	
	2	0	360	
	3	-10	350	
	Průměr:	-3	357	-27
0,5	1	-10	350	
	2	-20	340	
	3	-20	340	
	Průměr:	-17	343	-40

Tabulka úhlů natočení volantu pro přední nápravu:

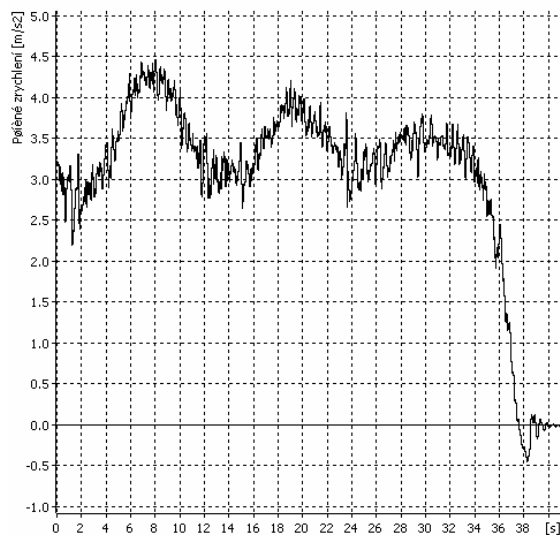
<i>Tlak [bar]:</i>	<i>Měření:</i>	<i>Úhel natočení [°]:</i>	<i>Celkový úhel natočení [°]:</i>	<i>Úhel vůči nahuštěné [°]:</i>
2,0	1	30	390	
	2	20	380	
	3	20	380	
	Průměr:	23	383	0
1,0	1	50	410	
	2	60	420	
	3	60	420	
	Průměr:	57	417	33
0,5	1	90	450	
	2	90	450	
	3	90	450	
	Průměr:	90	450	67

Tabulka úhlů natočení volantu pro zadní nápravu:

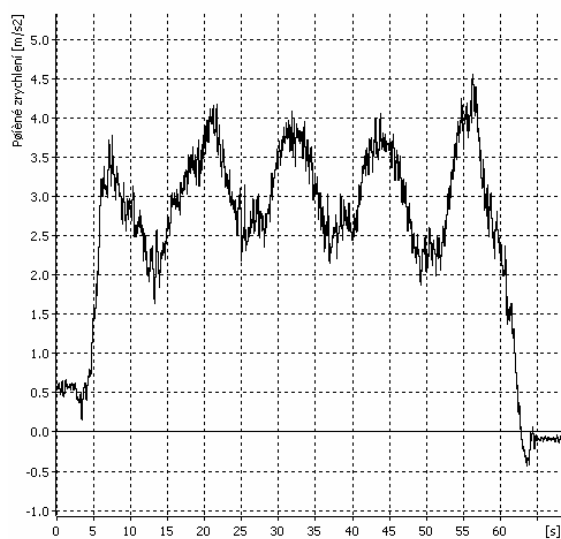
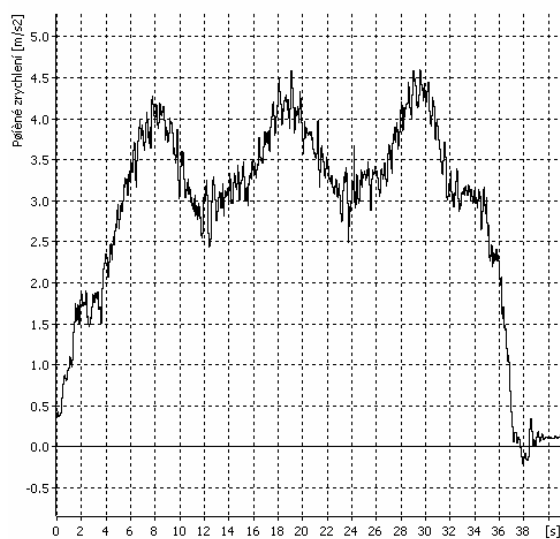
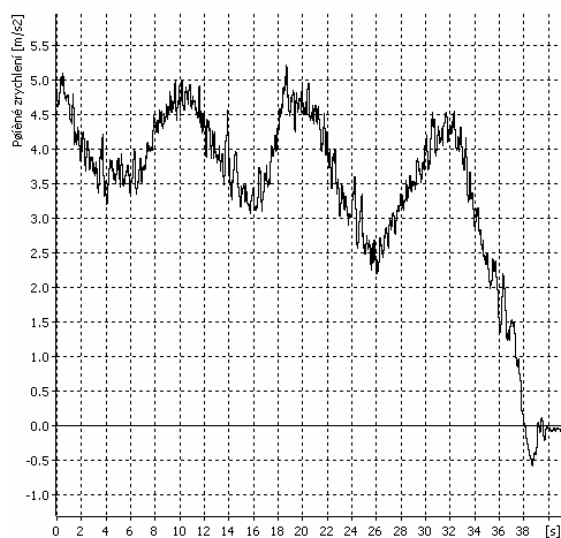
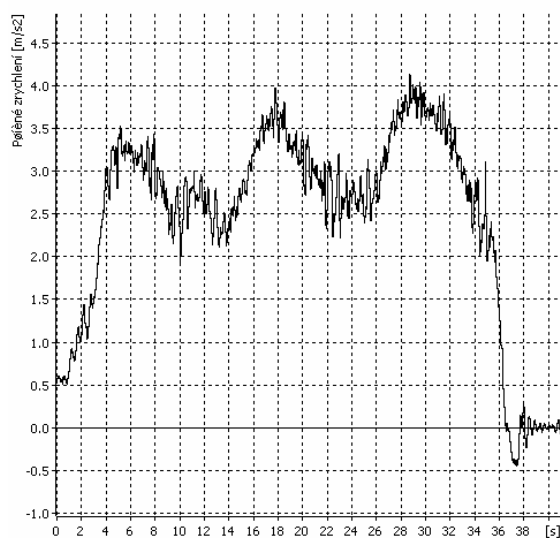
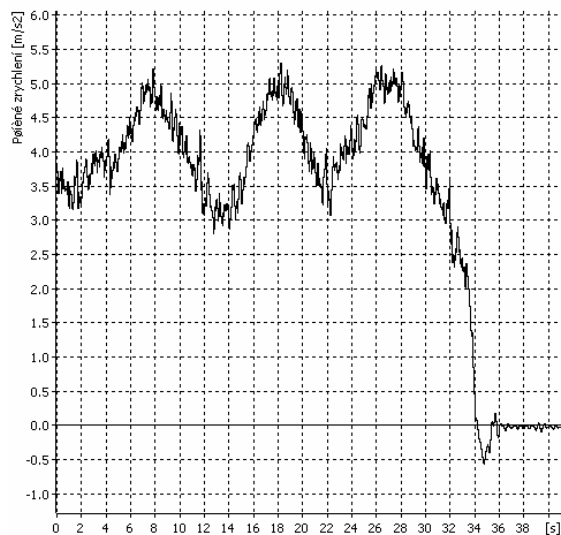
<i>Tlak [bar]:</i>	<i>Měření:</i>	<i>Úhel natočení [°]:</i>	<i>Celkový úhel natočení [°]:</i>	<i>Úhel vůči nahuštěné [°]:</i>
2,0	1	30	390	
	2	20	380	
	3	20	380	
	Průměr:	23	383	0
1,0	1	10	370	
	2	0	360	
	3	0	360	
	Průměr:	34	394	11
0,5	1	-20	340	
	2	-30	330	
	3	-30	330	
	Průměr:	-27	333	-50

Příčné zrychlení při plně nahuštěných pneumatikách:

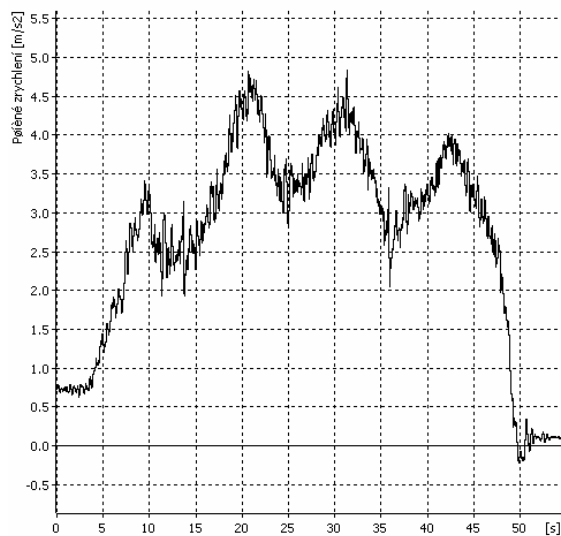
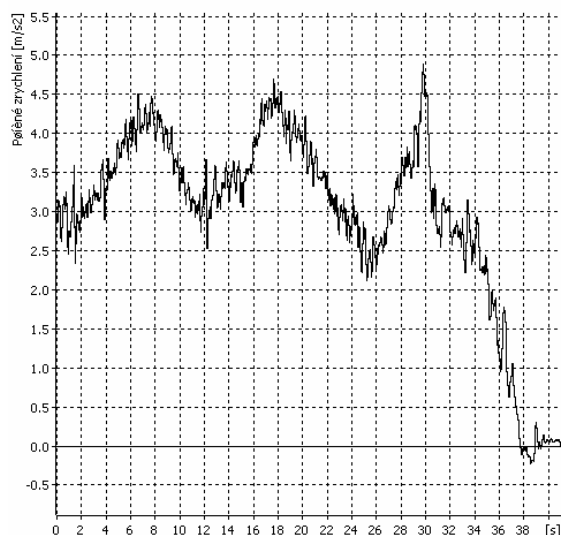
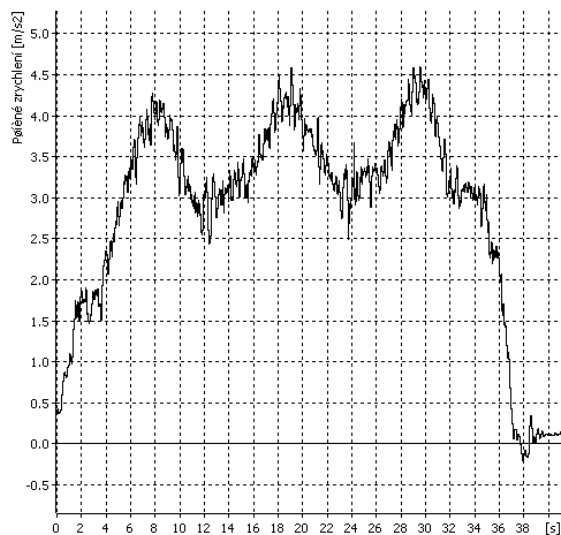
Příční zrychlení – LP 1 bar:



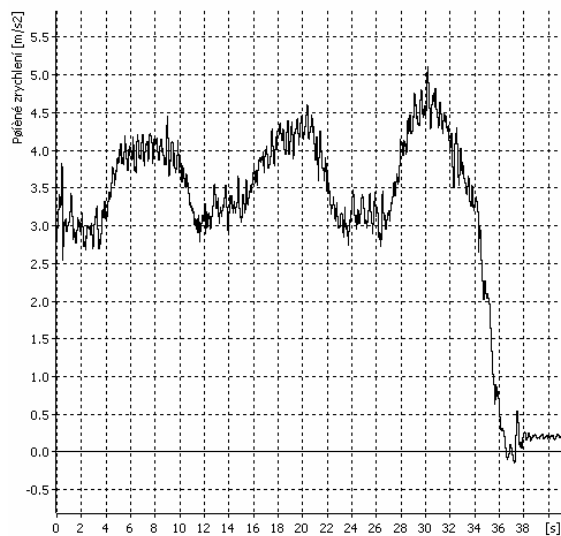
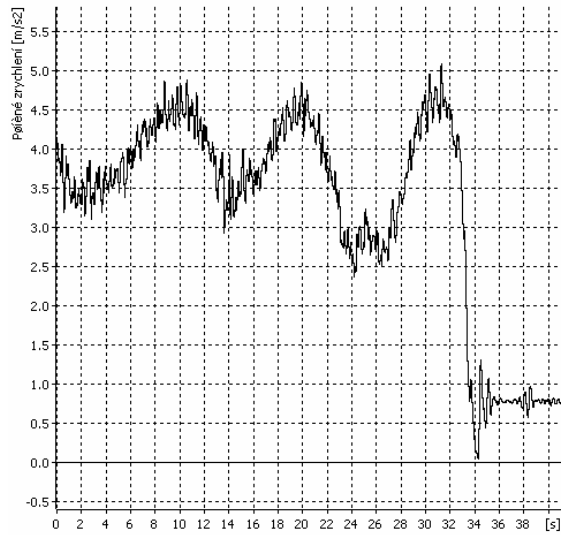
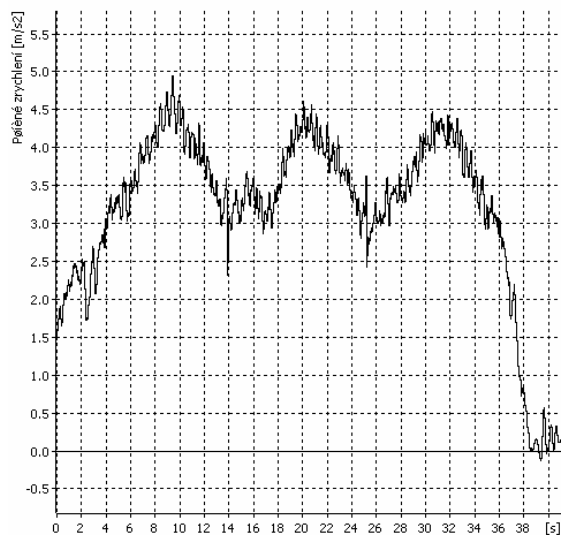
Příční zrychlení – LP 0,5 bar:



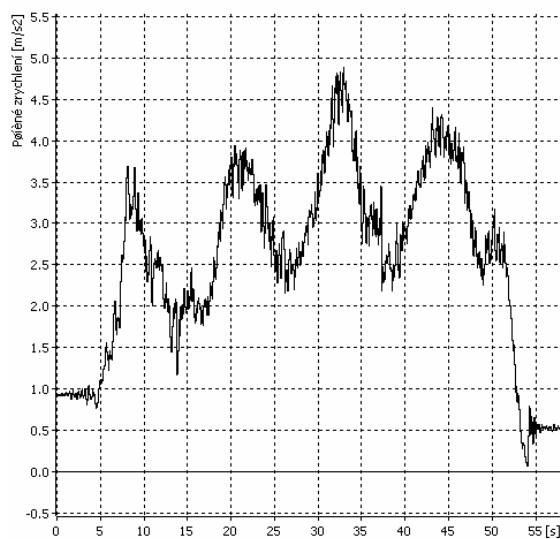
Příční zrychlení – PP 1 bar:



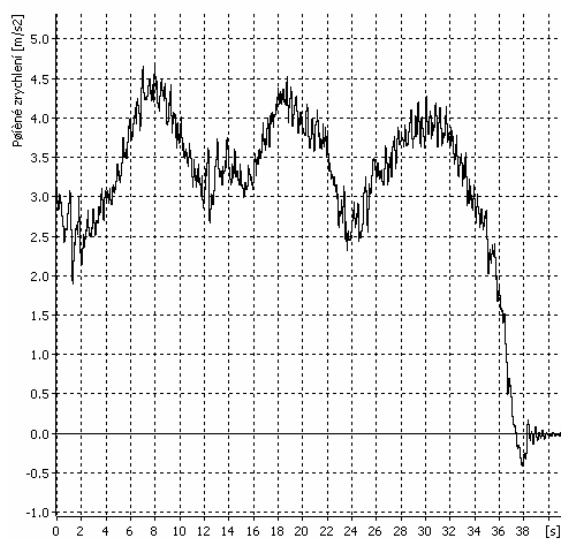
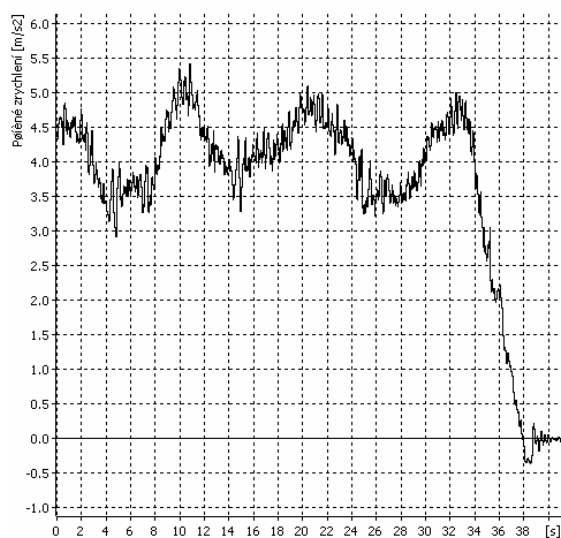
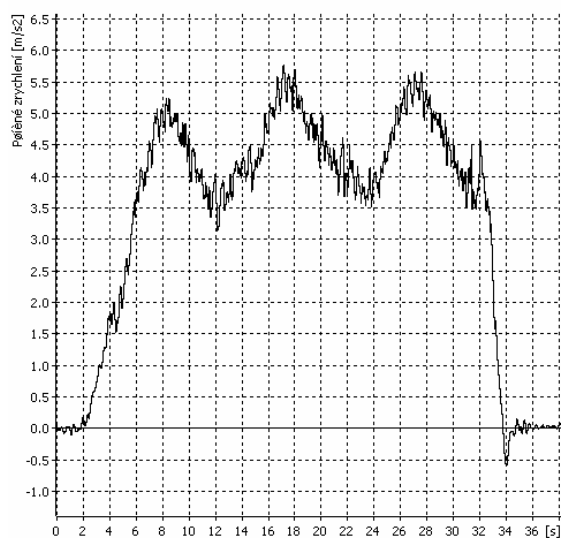
Příční zrychlení – PP 0,5 bar:



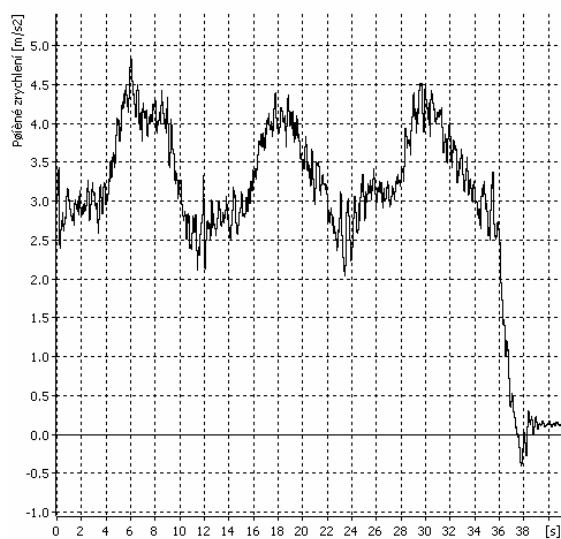
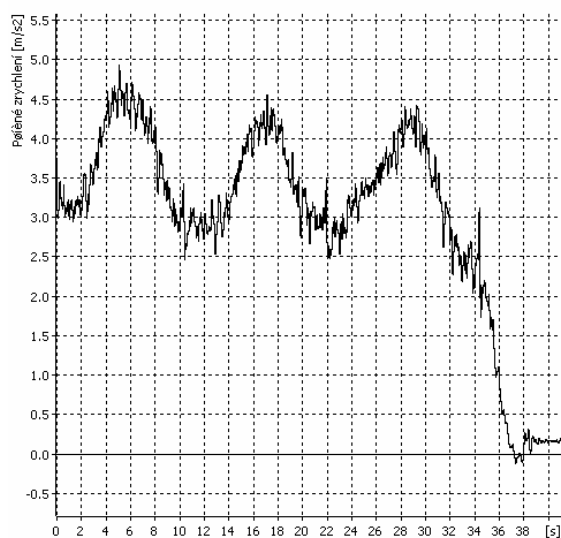
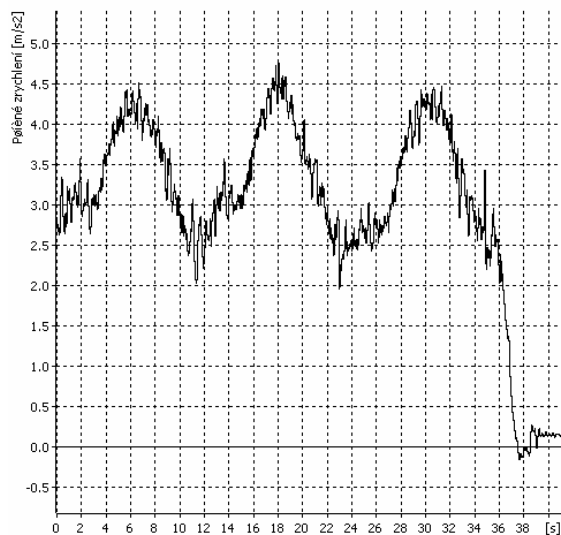
Příční zrychlení – LZ 1 bar:



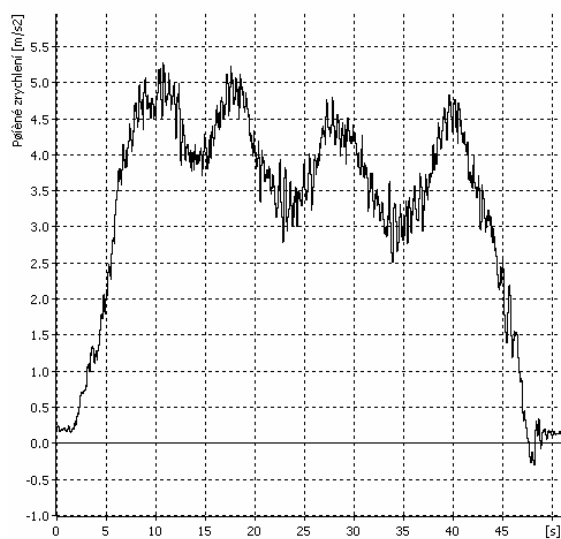
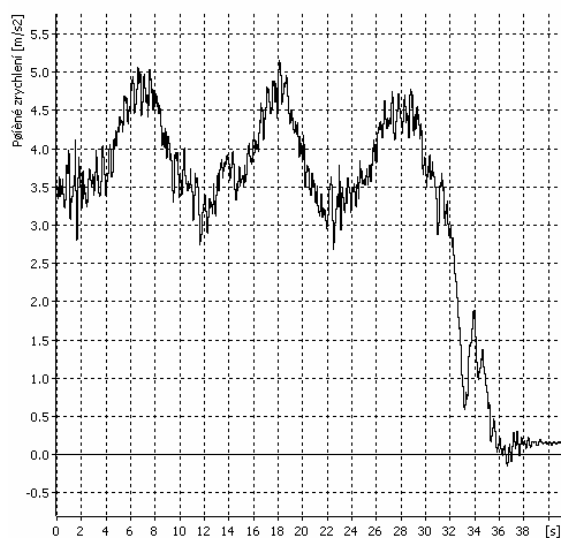
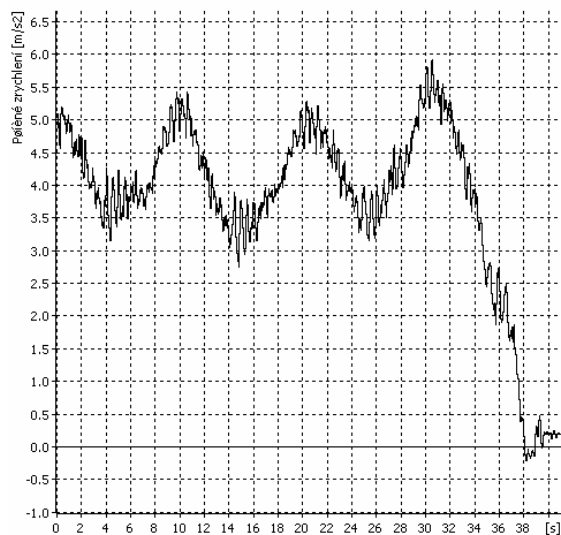
Příční zrychlení – LZ 0,5 bar:



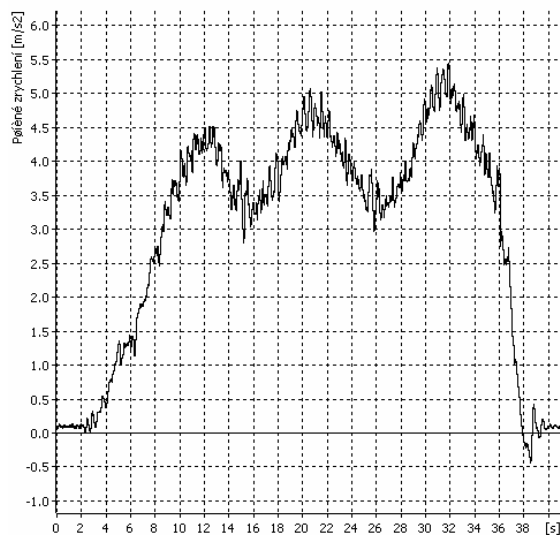
Příční zrychlení – PZ 1 bar:



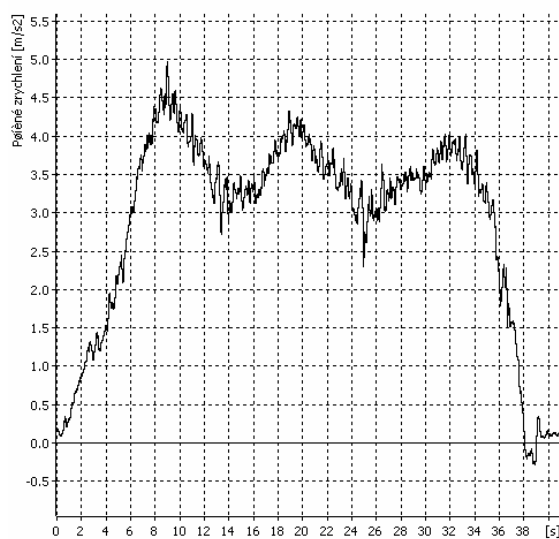
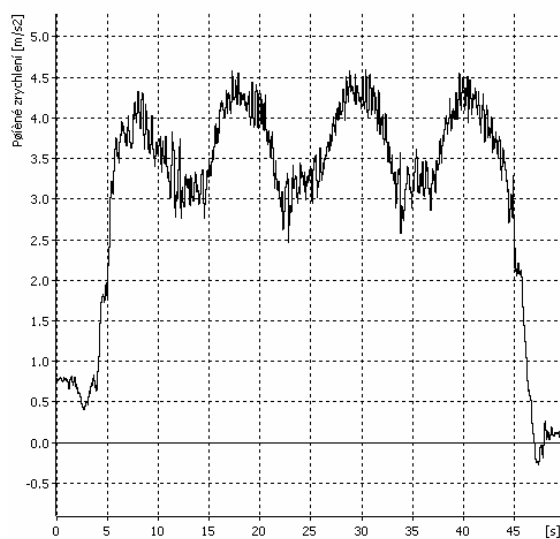
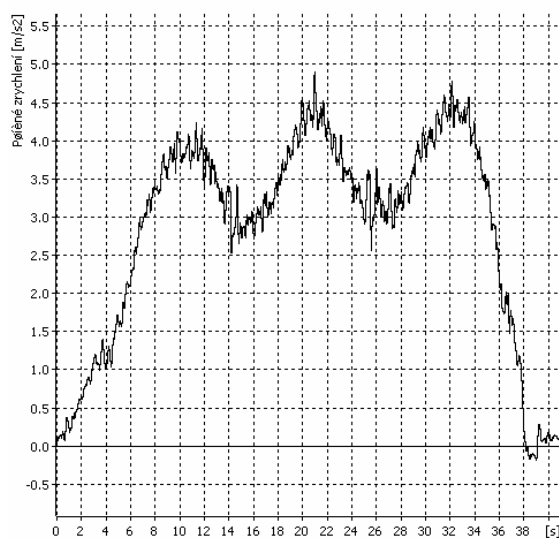
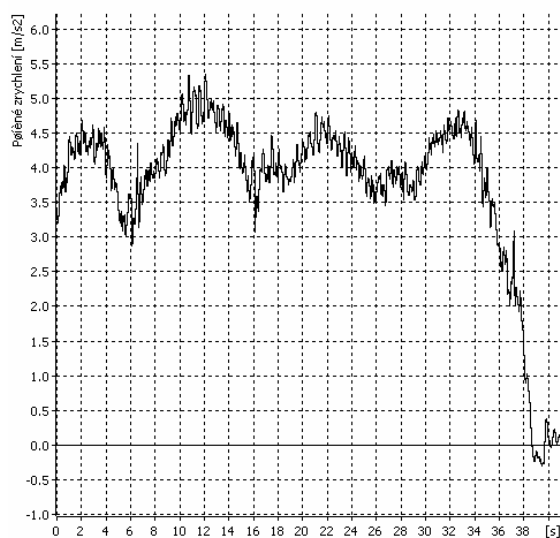
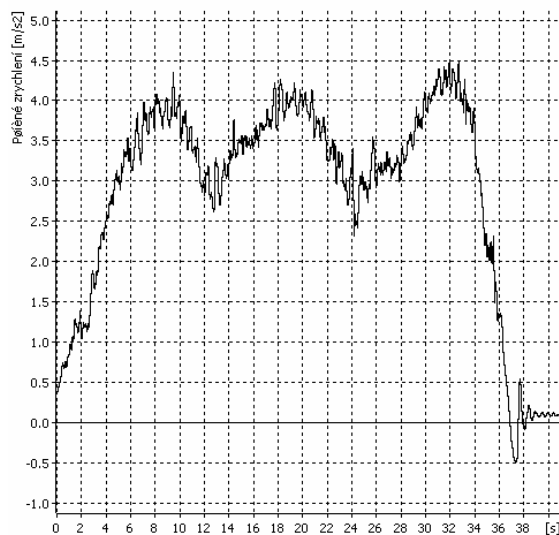
Příční zrychlení – PZ 0,5 bar:

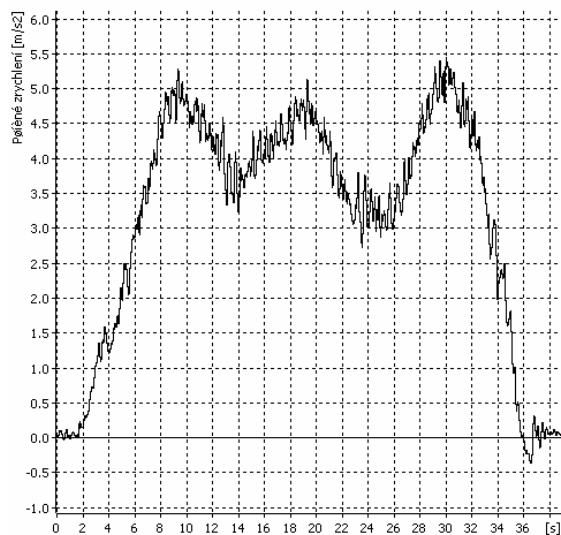
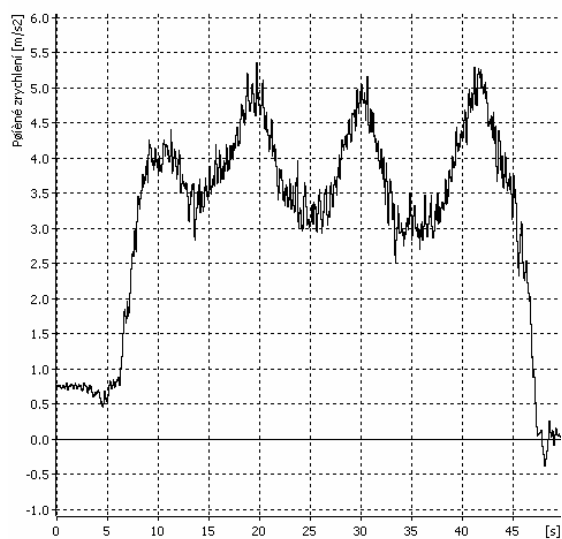
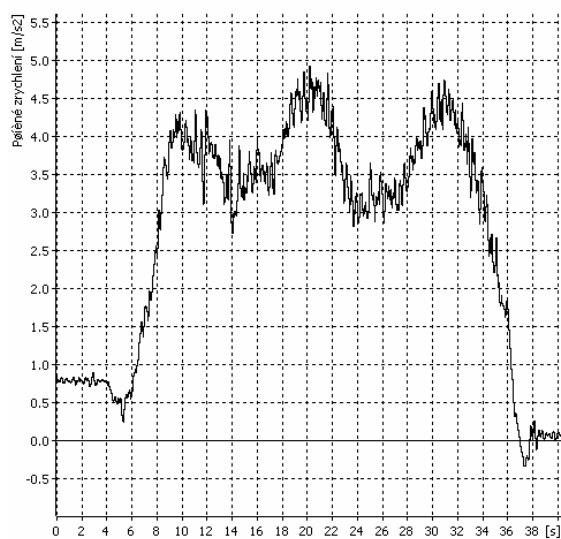
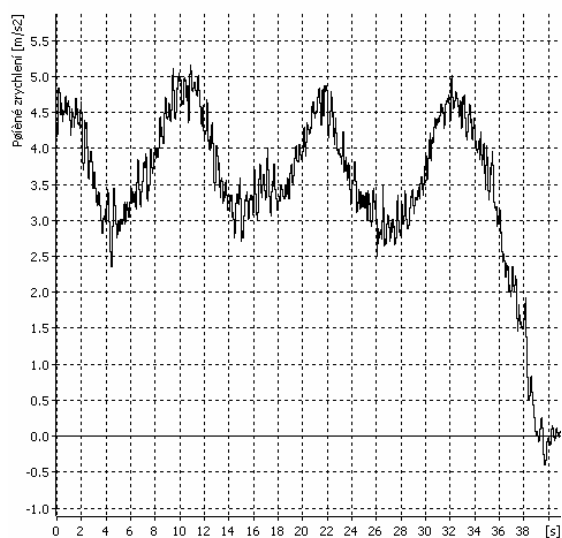
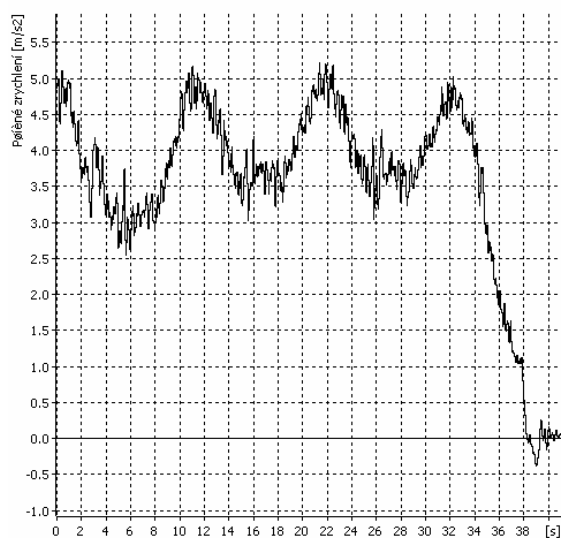
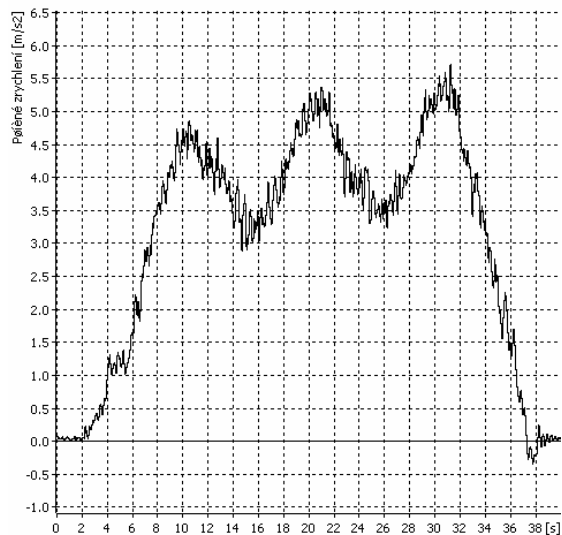


Příční zrychlení – přední 1 bar:



Příční zrychlení – přední 0,5 bar:

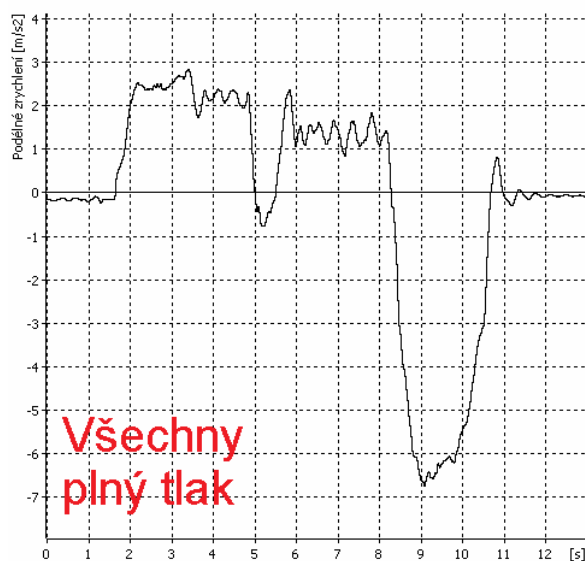


Příční zrychlení – zadní 1 bar:**Příční zrychlení – zadní 0,5 bar:**

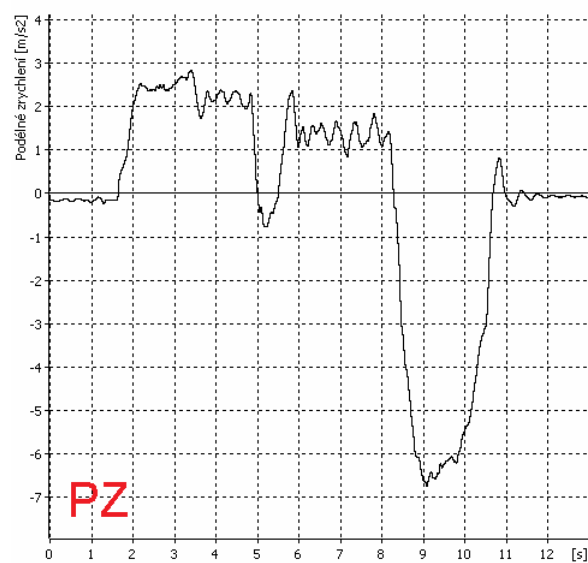
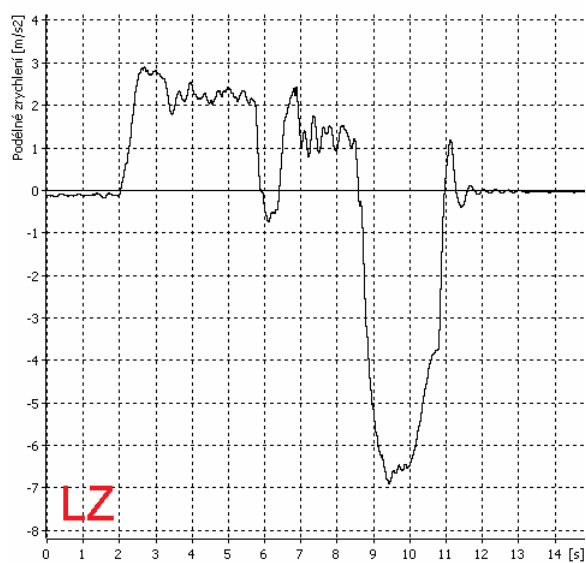
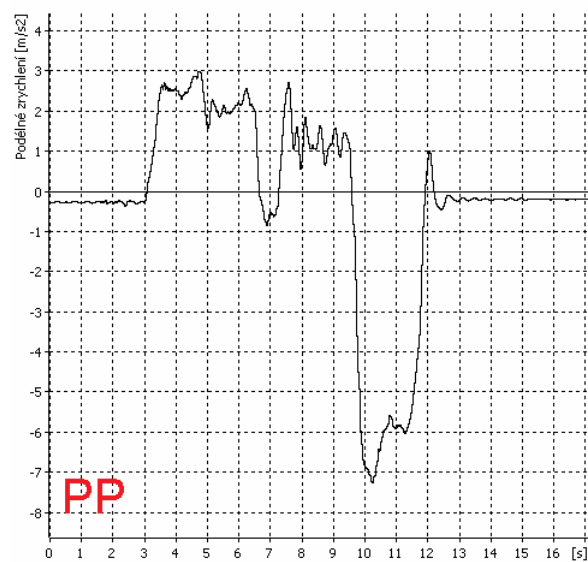
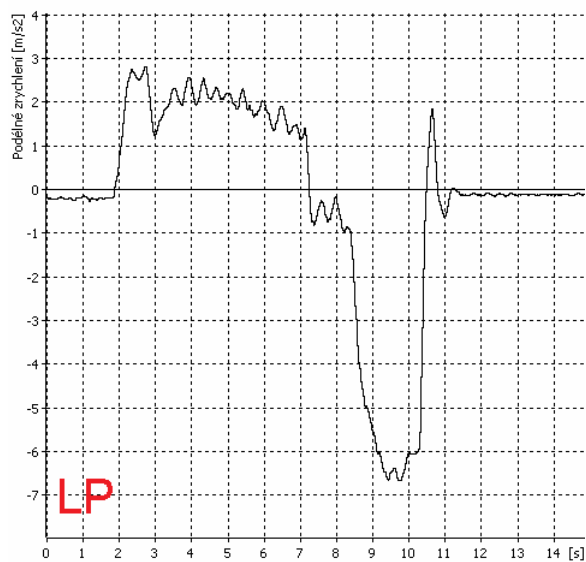
Tabulka hodnot získaných z XL metru při brzdných zkouškách (pneu 0,5 bar):

<i>Pneu:</i>	<i>Měření:</i>	<i>Brzdná dráha [m]:</i>	<i>Výchozí rychlost [km/h]:</i>	<i>Doba brzdění [s]:</i>	<i>MFDD [m/s²]:</i>	<i>Úhel úchylky volantu [°]:</i>
všechny plné	1	12,5	41	2,11	6,29	0
	2	12,39	40,53	2,19	6,18	0
	Průměr:	12,45	40,77	2,15	6,24	0
LP	1	12,02	38,84	2,07	6,1	10
	2	12,41	41,02	2,14	6,02	10
	Průměr:	12,22	39,93	2,11	6,06	10
PP	1	12,8	42,65	2,23	6,12	10
	2	11,38	38,78	2,12	6,12	10
	Průměr:	12,09	40,72	2,18	6,12	10
LZ	1	12,33	41,84	2,21	6,38	0
	2	12,54	41,19	2,1	6,36	0
	Průměr:	12,44	41,52	2,16	6,37	0
PZ	1	12,56	41,04	2,27	6,2	0
	2	11,73	39,54	2,15	6,21	0
	Průměr:	12,15	40,29	2,21	6,21	0

Grafy podélného zpomalení pro pneumatiky s plným tlakem (2 bar):

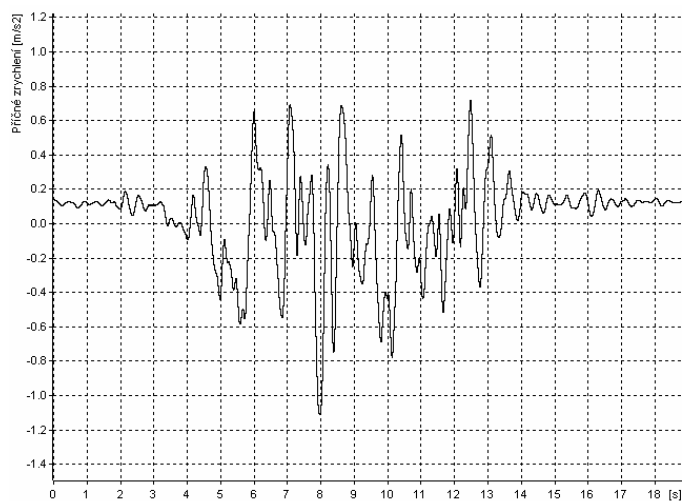


Grafy podélného zpomalení pro LP, PP, LZ a PZ pneumatiku (tlak 0,5 bar):

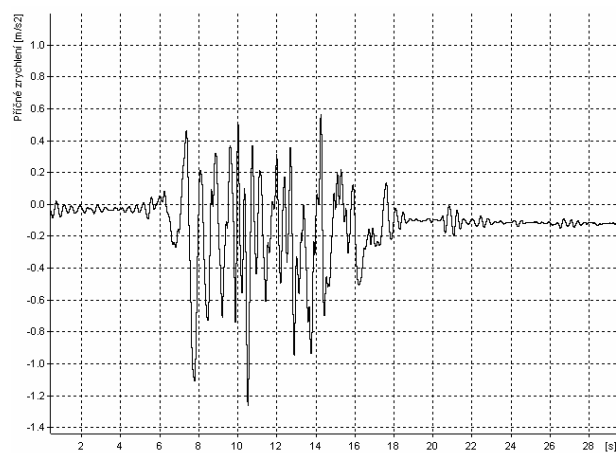
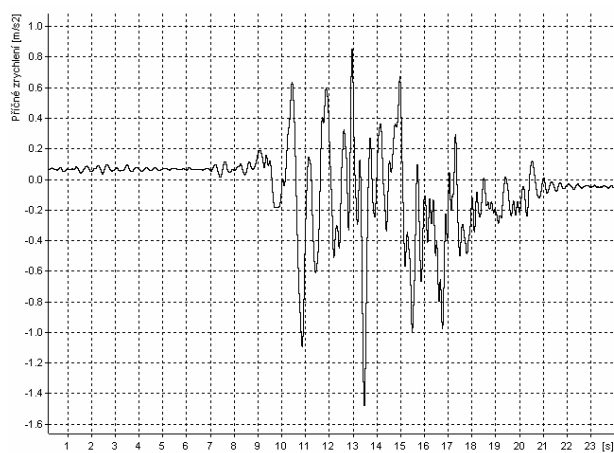


Grafy příčného zrychlení při testu na přímé dráze:

- plné pneumatiky:

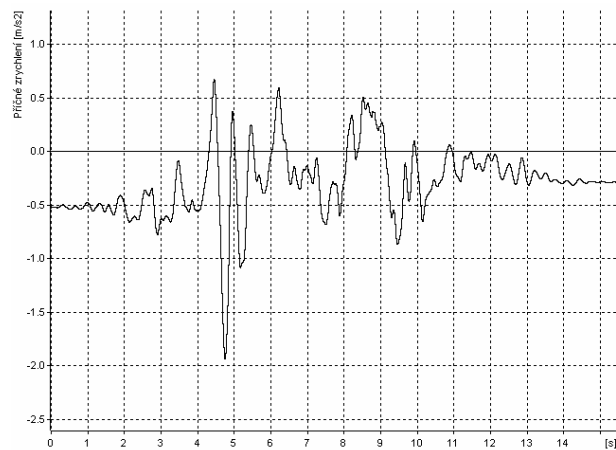
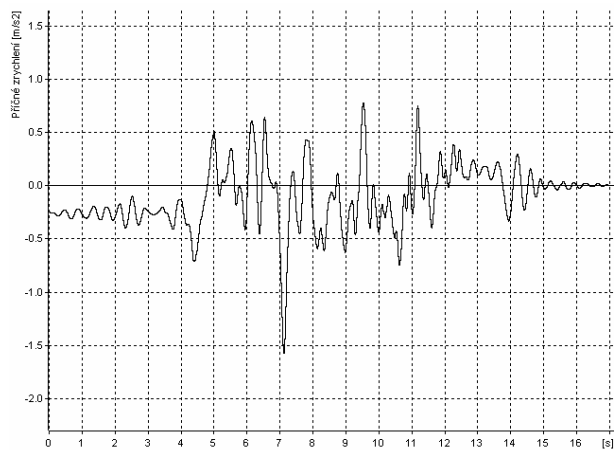


- defekt na LP:



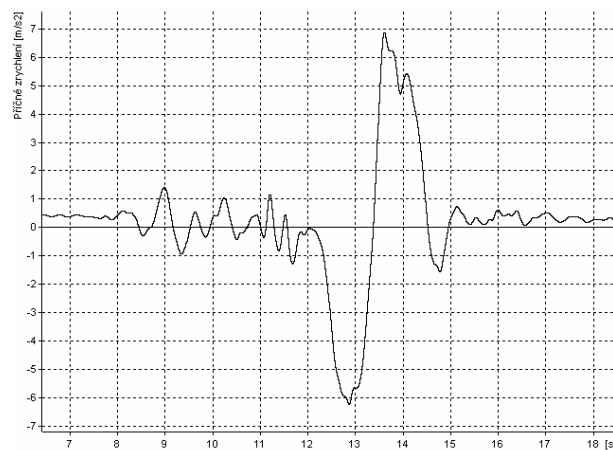
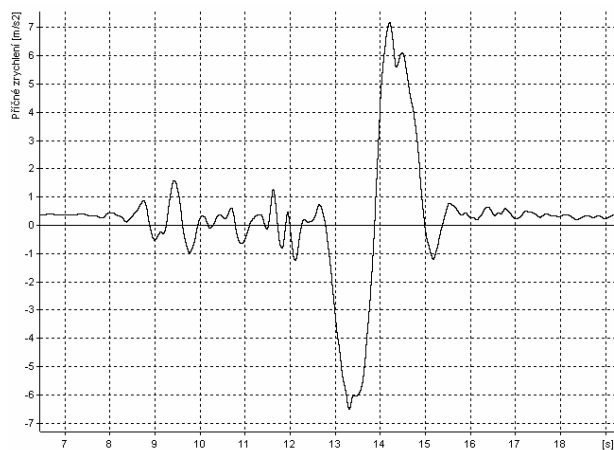
Grafy příčného zrychlení při testu na přímé dráze:

- defekt na LZ:

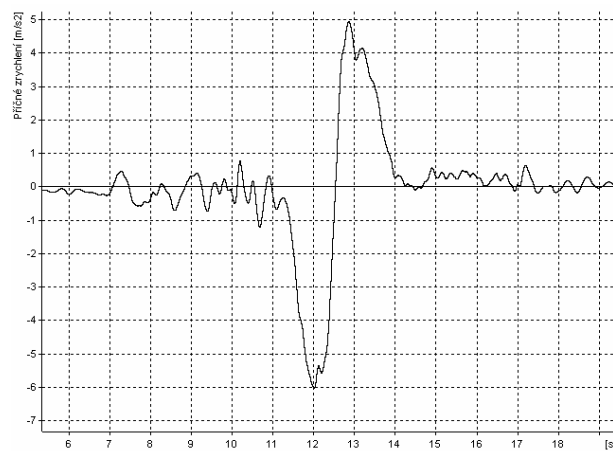
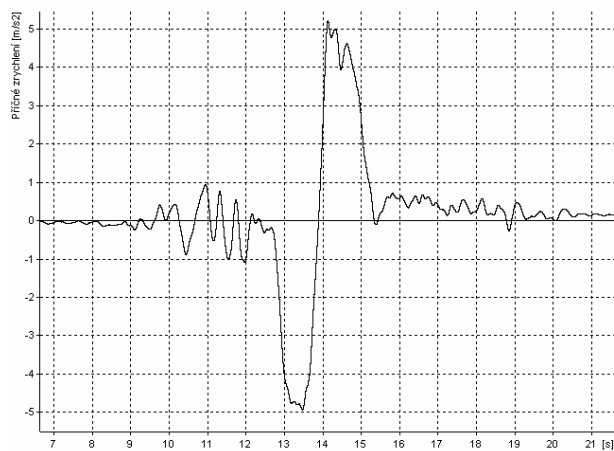


Grafy příčného zrychlení při vyhýbavém manévru:

- plné pneu:

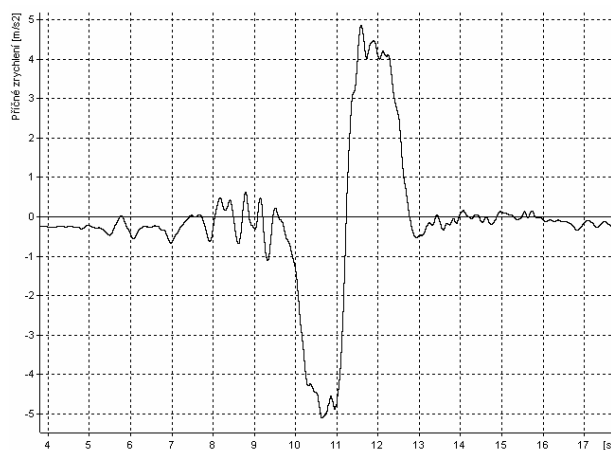


- defekt LP:



Grafy příčného zrychlení při vyhýbavém manévru:

- defekt LZ:



- defekt LP – stejné natočení volantu jako při plných pneu:

